

海南岛农业干旱综合监测研究*

李海亮¹, 戴声佩¹, 胡盛红², 田光辉³, 罗红霞¹

- (1. 中国热带农业科学院科技信息研究所/海南省热带作物信息技术应用研究重点实验室, 海南 儋州 571737;
2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南 儋州 571737;
3. 海南省气象科学研究所, 海南 海口 570203)

摘要: 采用遥感信息与地面气象观测数据相结合的方法进行农业干旱监测研究。选择适合高植被覆盖区旱情监测的标准化植被供水指数及适合热带气候区旱情监测的综合降水距平指数作为参数, 通过与同步实测土壤含水量的数据融合构建农业干旱综合指数模型。用检验样点的实测数据对模型进行精度验证与实用性评价, 检验结果显示均方根误差 RMSE 为 4.65%, 相对均方根误差 $RMSE_r$ 为 19.28%, 说明该模型具有较高的精度, 可以用来监测海南岛的农业干旱。利用模型对海南岛 2004 年 10 月至 2005 年 1 月旱情进行监测与分析。结果表明海南岛旱情西部重于东部、北部重于南部、四周平原重于中部山区。2004 年 10 月上旬起旱情持续加重, 12 月上旬达到旱情高峰, 12 月中旬旱情略有缓解, 但直至监测末期 2005 年 1 月下旬旱情依然严重。旱情随着海拔、坡度减小而加重的趋势明显; 平地旱情比坡地重, 旱情随坡向的分异不是很明显。

关键词: MODIS; 农业干旱; 旱情指数; 综合监测; 海南岛

中图分类号: S127 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2012) 06-0126-05

Study on Agricultural Drought Comprehensive Monitoring in Hainan Island Based on MODIS Data and Meteorological Data

LI Hailiang¹, DAI Shengpei¹, HU Shenghong², TIAN Guanghui³, LUO Hongxia¹

- (1. Institute of Scientific and Technical Information, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Practical Research on Tropical Crops Information Technology In Hainan, Danzhou 571737, China;
2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571737, China;
3. Hainan Institute of Meteorological Sciences, Haikou 570203, China)

Abstract: In this paper, the agricultural drought was monitored based on the MODIS data and meteorological data. The agricultural drought index model was established by the standardization vegetation supply water index (SDI), comprehensive precipitation departure index (MSRI) and soil moisture data measured simultaneously. The SDI is suitable for drought monitoring in high vegetation cover region, and the MSRI is suitable for drought monitoring in tropical climate area. The model accuracy was evaluated by the measured data in May 2011 in Hainan Island. The results show that root mean square (RMSE) of the model is 4.65% and the relative root mean square ($RESE_r$) is 19.28%, indicating that the model has higher accuracy and can be used to monitor agricultural drought in Hainan Island. The

* 收稿日期: 2012-03-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40971218); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国热带农业科学院院本级)资助项目(1630012012017); 海南省热带作物信息技术应用研究重点实验室开放基金(rdzwkfj003)

作者简介: 李海亮(1977年生), 男, 助理研究员; E-mail: fondgis@163.com

model was used to monitor agricultural drought in Hainan Island from October in 2004 to January in 2005. Based on the results of agricultural drought monitoring, temporal attribute and spatial distributions of droughts in the study area were briefly discussed. The drought occurrences had some little fluctuations, but with a developing trend. The drought in west and north is more serious than in east and south of the island. As a whole, the drought is more serious in the plain than that in the mountain area of the central section of Hainan during the monitoring period, with an obvious temporal change trend. The drought was aggravated with the elevation and slope decrease. The drought in the plain is more serious than in the slope land and the aspect differentiation of drought is not obvious.

Key words: MODIS; agricultural drought; drought index; comprehensive monitoring; Hainan island

农业干旱是一种复杂的现象, 涉及农业、气象、水文等众多学科, 同时农业是一个自然与人工结合的过程, 作物干旱监测面临着较大的困难。遥感技术的发展为农业干旱的监测提供了新的机遇。遥感数据包含着地表的综合信息, 而农业干旱正是由于作物、土壤、大气等因素共同作用的结果, 因而遥感技术应用于干旱监测具有较大的潜力^[1-3]。但是, 农业干旱的遥感监测存在单一指数法精度有限, 复合指数法计算过程复杂等问题。合理的农业干旱监测方法应该把作物生长机理与环境信息结合起来, 加强作物生理、形态指标与土壤湿度指标的结合。利用遥感方法的优势, 结合气象等环境信息, 探求一个计算简便、数据容易获取, 重复周期短, 适用于大尺度的农业干旱监测方法, 将是农业干旱监测研究的一个重要发展方向^[4-6]。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

海南岛是我国仅次于台湾岛的第二大岛, 总面积约 3.39 万 km², 地处北纬 18°10' ~ 20°10', 东经 108°37' ~ 111°03' 之间, 位于热带北缘。海南岛纬度较低, 四季不分明, 夏无酷热, 冬无严寒, 气温年较差小, 全年气温高, 年平均气温 22 ~ 26 °C, 终年无霜雪。全岛中部山区气温较低, 西南部较高。年平均降雨量为 1 639 mm, 降雨时空差异大, 东湿西干。海南岛属热带季风海洋性气候, 干雨季分明。受台风及降雨时空分布不均的影响, 全岛旱涝灾害频繁, 旱患尤为突出。海南岛干旱对工农业生产和人民生活影响都很大, 不仅限制了热带资源的充分利用, 而且影响热带作物的生产活动和产量。建国以来海南岛出现较为严重的旱灾共 40 多次, 几乎每年 1 次。2010 年海南岛再一次遭受了大范围的严重干旱, 给岛内农业生产带来严重损失。

1.2 研究方法

1.2.1 农业干旱监测综合指数模型构建

1) 标准化植被供水指数的计算。应用植被供水指数 (VSWI) 进行旱情监测时, NDVI 变化较慢, 相对稳定, 而由于太阳辐射变化, 地表温度存在昼夜循环特征, 一天内会有很大的差别, 且与下垫面状况之间存在着复杂的关系^[7]。针对这一问题, 本研究对传统的植被供水指数法进行改进, 把植被供水指数进行标准化, 其计算公式为

$$VSWI = NDVI / T_s \quad (1)$$

$$SDI = (VSWI - VSWI_d) / (VSWI_w - VSWI_d) \times 100\% \quad (2)$$

式中, VSWI 为植被供水指数; NDVI 为归一化植被指数; T_s 为植被的冠层温度 (单位: °C), MODIS/Terra 的地表面温度 LST 可近似认为是植被冠层的表面温度; SDI 表示标准化植被供水指数, 取 0 ~ 1, 其中 SDI = 0 表示严重干旱, SDI = 1 表示非常湿润; $VSWI_d$ 、 $VSWI_w$ 分别表示最早、最湿润时的植被供水指数。

2) 综合降水距平指数的计算。干旱是一个持续的过程, 降水对农业干旱的影响具有累积效应, 本研究考虑本旬及前 8 旬的降水影响, 利用综合降水距平指数来对农业旱情进行更合理的表达, 这样也可以使气象数据与遥感数据得到更好地耦合, 其计算公式为

$$SRI = R / 2R_w \times 100\% \quad (3)$$

$$MSRI = A_0 \times SRI_0 + A_1 \times SRI_1 + A_2 \times SRI_2 + \dots + A_8 \times SRI_8 \quad (4)$$

式中, SRI 表示降水距平指数; R 表示旬降水量; R_w 表示该旬多年平均降水量, 通常情况下, 如果 R 达到 R_w 的 2 倍, 则可以认为降水相对比较充足。因此, 凡是 R 大于 R_w 的 2 倍的, 则认为湿润, SRI 为 1; MSRI 表示综合降水距平指数, 取 0 ~ 1, 其中 MSRI = 0 表示严重干旱, MSRI = 1 表示非常湿润; SRI_0 和 A_0 表示当旬降水距平指数及其权重, $SRI_1 - SRI_8$ 和 $A_1 - A_8$ 是前 8 旬降水距平指数

及权重, $A_0 - A_8$ 取值满足 $A_0 + A_1 + \dots + A_8 = 1$; 且 $A_0 - A_8$ 呈递减状态, 分别取值 0.263、0.189、0.145、0.116、0.093、0.073、0.06、0.04、0.03^[6]。

3) 土壤含水量的采样。根据不同植被覆盖状况, 在海口、儋州、琼中预选出 3 个样区, 在野外利用 GPS 导航功能在 3 个样区布设 75 个样点, 每个样区为 5×5 的方阵, 相邻两个样点的间距为 1 km。同时在儋州、琼中选取 15 个样点作为检验样点。为了保证与卫星同步观测, 采样时间 2011 年 5 月 9 日至 16 日卫星每天过境的时刻——上午 10:30 左右, 并在天气晴朗的天气条件下进行。采样深度在参考他人研究成果、并考虑农业耕作层的深度后定为 20 cm^[8]。使用手持 GPS 进行样点的定位, 使用 TDR300 土壤水分测定仪进行土壤含水量 VWC (单位:%) 的测量。

4) 土壤含水量反演建模及模型精度检验。用专业数据分析处理软件 SPSS 17.0 对 75 个样点的 SDI、MSRI 及 VWC 进行拟合, 选择最优模型。利用 15 个检验样点的采样数据, 通过均方根误差 (RMSE) 和相对均方根误差 (RMSEr) 两个指标来评价模型的精度^[9-10]。

1.2.2 数据来源与处理 利用海南省气象科学研究所 EOS/MODIS 遥感数据接收系统存档的日 MODIS 原始数据 (上午星 Terra), 通过一系列预处理工作, 以最大值合成法 (MVC) 逐日合成得到 2011 年 5 月中旬的归一化植被指数 (NDVI), 空间分辨率为 1 km。对美国国家航空航天局 (NASA) 提供的 L3 级别的 MODIS/Terra 全球地表温度 (LST) 数据产品进行一系列处理, 以均值法逐日合成得到 2011 年 5 月中旬的 LST 数据, 空间分辨率为 1 km。对 MSRI 采用薄板样条函数^[11] (Thin Plate Splines, TPS) 插值的方法进行全区域的精确模拟。将选定样区的 75 个样点及 15 个检验样点的实测土壤含水量数据输入已创建的点图层, 进行遥感数据、气象数据与采样数据的三者融合。

2 结果与分析

2.1 农业干旱监测综合指数模型

对 75 个采样点的 SDI、MSRI 和 VWC (单位:%) 数据进行相关分析。结果表明 SDI、MSRI 与 VWC 均有较好的线性关系, SDI、MSRI 与 VWC 的 Pearson 相关系数分别为 0.772 和 0.598, 它们的 sig 值均为 0.000, 小于 0.01, 通过了 0.01 的相

关性检验。通过多元线性回归分析, 得到 VWC 与 SDI、MSRI 的线性回归方程 (公式 5)。通常以土壤水分体积含量来表征农业干旱情况, 由此得到农业干旱监测综合指数模型 (公式 6)。

$$VWC = 58.5829SDI + 24.3711MSRI + 3.6198 \quad (5)$$

$$DI = \frac{58.5829SDI + 24.3711MSRI + 3.6198}{100} \quad (6)$$

式中 DI 为综合旱情指数, 取 0~1, 其中 DI=0 表示严重干旱, DI=1 表示非常湿润。

利用公式 (5) 对 2011 年 5 月中旬的海南岛土壤含水量进行反演, 计算检验样点的反演值与实测值之间的误差, RMSE 值为 4.65%, RMSEr 值为 19.28%, 说明公式 (5) 具有较高的精度, 可以用来反演海南岛的土壤含水量。农业干旱监测综合指数模型 (公式 (6)) 可以用来监测海南岛的农业干旱。

2.2 旱情分析

2.2.1 旱情时空演变 利用所建立的农业干旱综合监测模型 (公式 6) 对海南岛 2004 年 10 月至 2005 年 1 月的旱情综合指数 DI 进行计算, 以海南干旱调研为基础, 参考气象干旱等级划分方法、已有研究的综合干旱等级划分方法^[12], 将海南岛干旱程度分为湿润 ($0.7 < DI$)、正常 ($0.5 < DI \leq 0.7$)、轻旱 ($0.4 < DI \leq 0.5$)、中旱 ($0.25 < DI \leq 0.4$) 和重旱 ($DI \leq 0.25$) 等 5 个级别。图 1 显示, 监测时段内, 海南岛西部旱情重于东部、北部旱情重于南部、四周旱情重于中部。图 2 显示, 从旱情演变过程来看, 从 2004 年 10 月上旬起旱情持续加重, 至 2004 年 12 月上旬达到旱情高峰, 2004 年 12 月中旬旱情略有缓解, 但直至监测末期 2005 年 1 月下旬海南岛 DI 仍在低位运行, 旱情不容乐观。

2.2.2 旱情地形因子分析 利用海南岛 DEM 数据产品得到海南岛地形因子数据, 分析综合旱情指数随海拔、坡度和坡向的分异规律。图 3 显示, 海南岛综合旱情指数 DI 随着海拔、坡度的增大而增大的趋势很明显。这主要因为在海南岛, 坡度高的地区集中在海拔高的地区, 海拔高的地区降水较多。整体上海拔、坡度越高综合旱情指数越高, 旱情越轻。从坡向来看, 平地的 DI 最小, 旱情最重; DI 在不同坡向上分异不是很明显, 这主要是因为海南岛内坡度都不是很大, 表现到坡向上的降水和蒸发差异不是很明显。

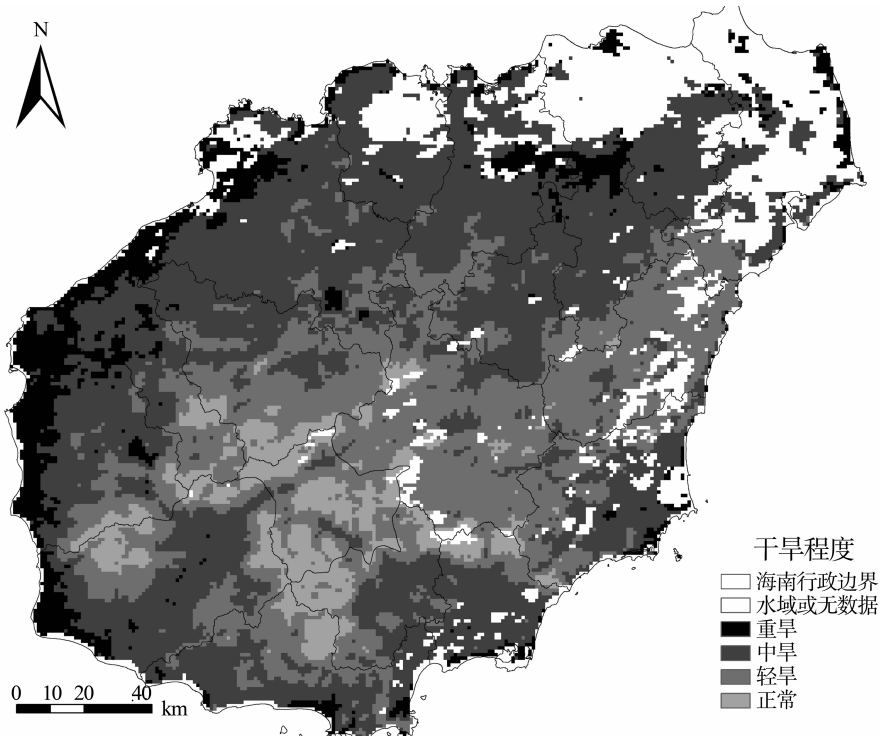


图 1 监测期内海南岛旱情 (平均值) 空间演变图

Fig. 1 Spatial variation of drought in Hainan Island during monitoring period

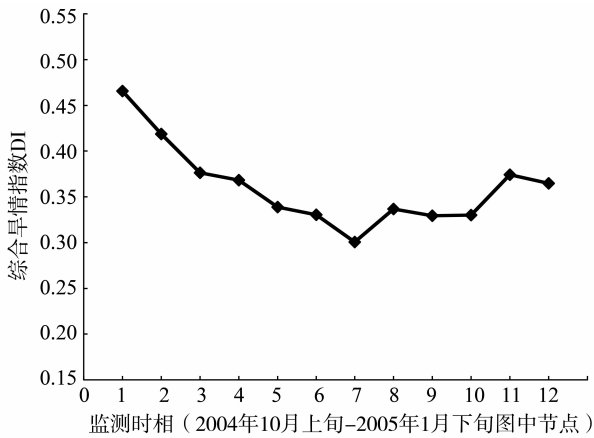


图 2 监测期内海南岛干旱 (平均值) 时间变化图

Fig. 2 Temporal variation of drought in Hainan Island during monitoring period

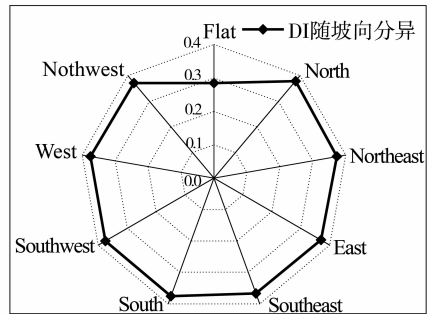
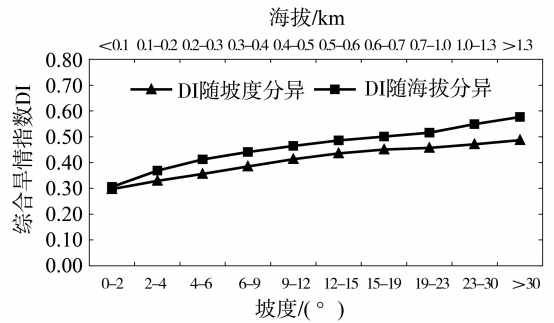


图 3 综合旱情指数 (平均值) 的海拔、坡度及坡向分异图

Fig. 3 Comprehensive drought index following elevation, slope and aspect

3 讨论与结论

本研究在分析现有农业旱情监测模型的基础上, 结合海南岛地理环境和农业生产特征, 采用遥感与地面气象观测数据相结合的方法构建了海南岛农业干旱综合指数模型, 经检验模型的均方根误差 RMSE 为 4.65%, 相对均方根误差 $RMSE_r$ 为 19.28%, 说明该模型具有较高的精度, 可以用来监测海南岛的农业干旱。在此基础上, 利用模型对海南岛

2004 年 10 月至 2005 年 1 月的旱情进行了监测与分析。

这一监测方法以适合高植被覆盖区旱情监测的

标准化植被供水指数及适合热带气候区旱情监测的综合降水距平指数为基础,把空间遥感和地面台站观测结合起来,通过遥感数据、气象数据和实测土壤含水量数据的融合构建农业干旱综合指数模型,克服了传统监测模型带来的旱情监测结果不确定性问题。基于作物植被指数和温度变化的植被供水指数能较好地反映作物的干旱严重程度。但是,在作物植被指数较高的情况下,作物供水指数与旱情之间的关系仍存在一定的不确定性。因此,本研究同时考虑了降雨对旱情监测结果的影响,把降水距平指数进行改进并引入到旱情监测模型中,通过实测土壤含水量形成了植被供水指数与降水距平指数的耦合模型,构建了旱情综合监测模型。由于降雨影响是一个渐进的过程,因此耦合模型考虑了前 8 旬的降雨距平影响。通过标准化处理后,旱情监测结果在不同时期具有可比性,可以根据不同级别的旱情分布进行受灾范围统计,评估可能的旱灾损失,为农业部门抗旱减灾工作提供更加直接可用的结果。

参考文献:

- [1] 李海亮,田光辉,刘海清. 基于 MODIS 数据的海南岛干旱遥感监测研究[J]. 广东农业科学,2011,(6):204-206.
- [2] 刘茜. 基于 MODIS 数据的黑龙江省农业干旱遥感监测研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2011.
- [3] 郑有飞,陈鹏,吴荣军,等. 地表蒸散的遥感估算模型及其在农业干旱监测中的应用[J]. 生态学杂志,2011,30(4):837-844.
- [4] 唐巍,覃志豪,秦晓敏. 农业干旱遥感监测业务化运行方法研究[J]. 遥感信息,2007,(2):37-41.
- [5] 李云鹏,司瑶冰,刘朋涛,等. 基于空间信息的内蒙古农业干旱监测研究[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(11):125-131.
- [6] LI Hailiang, LIU Enping, ZHAO Zibo, et al. Agricultural drought monitoring in Hainan Island based on MODIS data and meteorological Data [C] // Proceedings of 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, 2012:238-241.
- [7] 高懋芳,张虹鸥,秦晓敏,等. 广东省农业旱灾遥感监测[J]. 国土资源遥感,2008,(3):94-100.
- [8] 陈怀亮,冯定原,邹春辉,等. 麦田土壤水分 NOAA/AVHRR 遥感监测方法研究[J]. 遥感技术与应用,1998,13(4):27-35.
- [9] MAKELA H, PEKKARINEN A. Estimation of forest stands volumes by Landsat TM imagery and stand-level field-inventory data[J]. Forest Ecology and Management, 2004,196:245-255.
- [10] 李海亮,罗微,李世池,等. 基于遥感信息与净初级生产力的海南天然橡胶估产模型[J]. 自然资源学报,2012,27(9):1610-1621.
- [11] 杜国明,贾良文. 薄板样条函数在空间数据插值中的应用[J]. 计算机工程与应用,2009,45(36):238-240.
- [12] 徐慧. 基于 SPOT VEGETATION 数据的长江流域植被覆盖变化特征分析[D]. 武汉:华中农业大学,2011.