

# 浅谈飓风与初级生产力的关系

徐青羽

新南威尔士大学

**摘要:** 飓风是海洋汇合的重要来源,它将寒冷和富含营养的水带到海面,可以引发光合作用。本文以 2005 年的卡特里娜飓风为例探讨了飓风与初级生产力之间互相的影响,同时也探讨了表面温度和叶绿素对于初级生产力的响应。

**关键词:** 卡特里娜飓风; 初级生产力; 叶绿素

## 1. 介绍:

### 1.1 飓风 (Hurricanes)

飓风是一种被称为热带气旋的风暴,主要是在热带或者亚热带水域形成有组织的雷暴活动的低压系统。热带气旋在全球范围内都很常见,尽管飓风在人们的生活中经常遇到,但人们对于飓风产生和初级生产力之间的关系了解甚少。热带气旋按照其最大风速分为热带低气压(风速低于 39 英里/小时),热带风暴(风速为 39-73 英里/小时),以及飓风(风速等于或高于 74 英里/小时),大飓风的风速至少为 111 英里/小时(NOAA, 2020)。热带气旋会富含营养物质的冷水带到地表,从而引发卫星观测到光合作用(Da, et al., 2021)。而海洋吸收的 90%以上来自人为的多余的热量,从 20 世纪 90 年代以来海洋温度持续上升(Cheng, et al., 2017)。

### 1.2 初级生产力 (Net Primary Productivity)

净初级生产力(NPP)代表的是从大气到生物圈的最大年度碳通量,是大气中 CO<sub>2</sub> 浓度季节性波动的重要组成部分,也是全球碳循环中最关键的生物组成部分。飓风作为自然灾害的一种,对森林等自然植被产生破坏性的影响,从而对初级生产力也会产生不利影响(Lieth, 1975)。飓风对于社会经济状况,水质,潜在的火灾隐患,以及对于森林植被覆盖区初级生产力都具有重要影响。

## 2. NPP 计算方法的使用

NPP 的计算方法通常是净生物量碳吸收量增量和凋落物产量的总和(Ciais et al. 1995)。NPP 受到物理变化的影响,其过程是很难量化和计算的,因此科学家们通常使用生态参数进行建模估算各个区域的 NPP。“迈阿密模式”(Lieth 1975)是全球尺度的第一个陆地 NPP 经验模型。生物地球化学模型--BGCM 模型(Running and Hunt 1993)以及 CASA 模型(Potter et al. 1993)是最常用于区域和全球尺度的 NPP 估算的两类模型,他们都是利用卫星遥感数据来提供观测。通常飓风的轨迹数据都是来自于国际气候管理最佳轨迹档案,该数据集组合统一了全球各地的数据中心的飓风记录的数据(Knapp et al., 2018)。遥感表面叶绿素数据分析是表面叶绿素对飓风响应的调查研究,此外也可根据欧洲航天局分发的每日叶绿素 a 浓度来记录海面温度的变化趋势。(由 <http://www.esa-ocean-colour-cci.org> 获得)。

对于卡特里娜飓风的案例主要研究飓风对于森林生态系统结

构组成部分造成的损害及影响。2005 年 8 月 23 日至 30 日发生的卡特里娜飓风是袭击美国的损失最惨重,致死人数最多的五场飓风之一,大约夺去了 1500 人的生命(Oswalt et al. 2008)。卡特里娜飓风使用 CASA 模型和 AVHRR 卫星图来研究了飓风经过前后的森林结构及其组成的景观模式,栖息地的可用性和分布以及敏感性(Oswalt et al. 2008)。卡特里娜飓风对于美国西部的森林生产力产生了全面影响,从而影响了碳储存。因此使用确定位置和一致的时间 NPP 的计算方程。

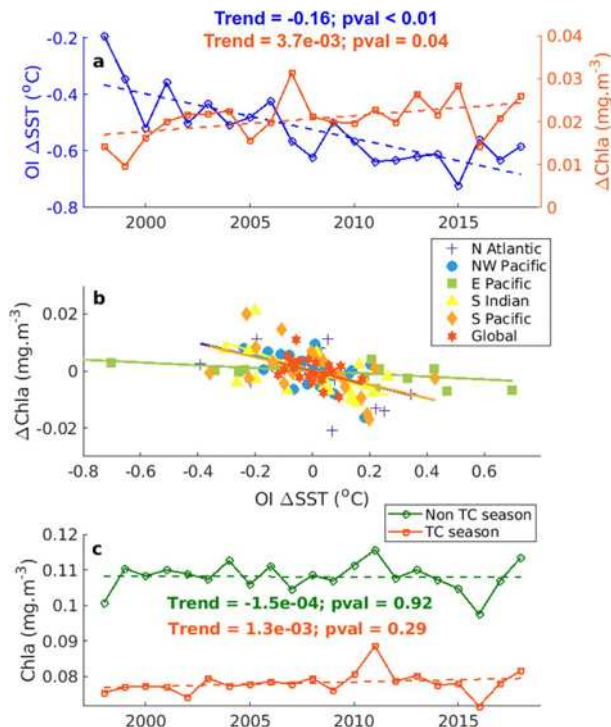
$$NPP = PAR(x, t) \times FPAR(x, t) \times \epsilon_{max} \times T_1(x, t) \times T_2(x, t) \times W(x, t),$$

在此模型根据卡特里娜飓风的路径和风速分类后,利于 ArcGIS 和 Erdas Imagine 对 2005 年和 2006 年每个月的 NPP 都进行和估算(Ambinakudige & Khanal, 2010)。比较同一个飓风不同风速对于地区的 NPP 的影响程度,并显示 NPP 数值沿着卡特里娜飓风路径的变化。

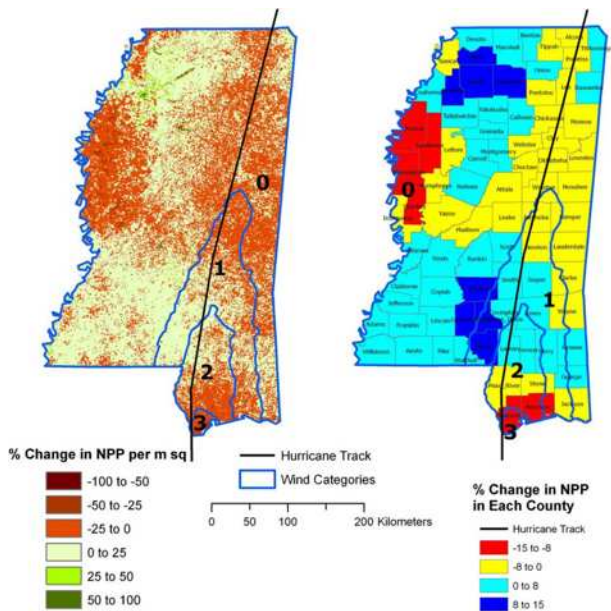
## 3. 数据分析及结果 (Data analysis & Result)

研究使用相对较高的空间分辨率对大西洋,太平洋等主要的飓风进行每日分辨研究后表明飓风发生的情况下叶绿素相应的空间尺度至少为 250 公里(Vincent et al., 2012b)。根据叶绿素 a 浓度的变化来研究飓风引起的初级生产力的变化,由(图一)我们可以得知飓风诱导的叶绿素具有显著的正向趋势,并且南半球比北半球更强。飓风发生的情况下叶绿素大量繁殖主要是通过混合上升流将注入新的硝酸盐和注入新的叶绿素(Vincent et al., 2012b)。由此表明由飓风引起冷尾流和叶绿素趋势变化,证明飓风将富含营养物质的冷水进行输送后,海洋的初级生产力得到提高。

卡特里娜飓风的研究结果表面 NPP 增加了碳的含量,在卡特里娜飓风期间受到三级风和二级风的地区的 NPP 有所下降,但受到一级风或者未受到飓风影响的区域 NPP 有细微增加(Ambinakudige & Khanal, 2010)。由(图二)显示受到卡特里娜飓风最严重的密西西比州的县级地区的 NPP 值有所下降,并且在飓风经过的路径中受到三级风的区域的 NPP 值较低。根据统计可以知道 83 个县中有 6 个县的 NPP 下降超过 8g C m<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, 31 个县的 NPP 下降为 0 到 8g C m<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, 38 个县的 NPP 没有改变或者增加不超过 8g C m<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, 以及 8 个县 NPP 增加超过 8g C m<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>。



图一：叶绿素的趋势和变化及其与 SST 冷却的关系 (Da, et al., 2021) .



图二：2005 年至 2006 年间密西西比州每米和每个县的 NPP 变化百分比。引文：地球相互作用 14, 14; 10.1175/2010EI292.1

卡特里娜飓风对于美国的森林生态系统的许多组成部分的破坏，尤其是对于植被的损伤是毁灭性的，这会导致森林固碳能力的下降，从而使得 NPP 值下降。但是从长远看，森林生态系统也可能是因为飓风得到经过而带来更多地养分从而提高其 NPP (McNulty 2002)。

#### 4. 结论 (Conclusion)

一些研究已经通过卫星观测记录了飓风叶绿素相应，即使这与飓风对初级生产力的贡献未能达成共识，这主要是由于研究方法，

数据库，时间，区域以及飓风的自身情况不同而导致的。在本文，我们结合卫星观测和数值模拟的结果探讨了飓风与初级生产力之间的关系，并以卡特里娜飓风为例，研究了飓风所经路径的初级生产力变化。在经历飓风后引起的海温冷却和叶绿素值上升都导致了海洋的初级生产力得到提高，但是飓风在经过近海荒漠的地区时会产生一些负面影响。在经历过飓风的森林地区，受到飓风的扰乱影响初级生产力受到严重的损耗，碳存量也有所减少。初级生产力在海洋区域和森林区域都是不可忽视的，因此长期监测飓风等不同自然状况事件中 NPP 值也是非常重要。

#### 参考文献：

- [1]Ambinakudige, S., and Khanal, S. (2010). 评估飓风卡特里娜对密西西比州净初级生产力的影响。地球互动。14 (14), 112. doi: 10.1175/2010EI292.1
  - [2]Cheng, L., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Abraham, J., & Zhu, J. (2017). 1960 年至 2015 年海洋热含量的改进估计。《科学进展》, 3 (3), e1601545. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545>
  - [3]Ciais, P., P. P. Tans, M. Trolier, J. W. C. White, and R. J. Francey. 1995. A large Knapp, K. R., Diamond, H. J., Kossin, J. P., Kruk, M. C., & Schreck, C. J. (2018). 国际气候管理最佳轨迹档案 (IBTrACS) 项目, 第 4 版。NOAA 国家环境信息中心。 <https://doi.org/10.25921/82ty-9e16>
  - [4]Da, N. D., Foltz, G. R., & Balaguru, K. (2021). 观测到热带气旋引起的全球海洋降温 and 初级生产力增加。地球物理研究快报, 48, e2021GL092574. <https://doi.org/10.1029/2021GL092574>
  - [5]Lieth, H. (1975). 模拟世界初级生产力。《生物圈初级生产力》, 237-263.
  - [6]NOAA. (2020, May 1). 飓风。 <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/weather-atmosphere/hurricanes> Oswalt, S. N., C. Oswalt, and J. Turner. 2008. 卡特里娜飓风影响密西西比州森林。南方应用医学杂志 32: 139-141.
  - [7]Potter, C. S., J. T. Randerson, C. B. Field, P. A. Matson, P. M. Vitousek, H. A. Mooney, and S. A. Klooster. (1993). 陆地生态系统生产：基于全球卫星和地表数据的过程模型。全球生物地球化学。循环 7: 811-841.
  - [8]Running, S. W. and E. R. Hunt. (1993). 将森林生态系统过程模型推广到其他生物群落，即 BIOME-BGC, 并应用于全球尺度模型。生理过程的尺度化：从叶子到地球，学术出版社, 141-158.
  - [9]Vincent, E. M., M. Lengaigne, G. Madec, J. Vialard, G. Samson, N. C. Jourdain, C. E. Menkes, and S. Jullien (2012b), 热带气旋引起的海面冷却特征过程，地球物理研究杂志, 117, C02020, doi: 10.1029/2011JC007396.
- 作者简介：徐青羽，(1999-)，女，山东济南人，新南威尔士大学硕士研究生，主要研究方向：大气科学 & 海洋科学。