

飓风和台风对沿海地区森林生态系统的影响

全 川, 杨玉盛

(湿润亚热带生态地理过程省高校重点实验室, 亚热带资源与环境省重点实验室, 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007)

摘要:飓风和台风是影响热带和温带沿海区域的主要灾害性气候之一, 飓风和台风对于森林生态系统的影响是生态学关注的课题。综述了飓风和台风登陆对于森林生态系统树木和林分的危害影响形式及主要影响因素, 着重举例阐述了树种和森林类型是影响台风危害程度的一个重要因素。分析了目前国际上开展的关于飓风和台风登陆对于森林生态系统碳、氮循环的影响, 结果表明飓风、台风干扰导致的森林凋落物输入量、凋落物分解速率以及森林碳储存量动态变化较为复杂, 与森林类型、林分空间位置以及台风过后的时间段密切相关。飓风引起的森林受损的恢复途径和机理与树冠受损严重程度直接相关, 并受到光和水条件的影响, 及时的开花、结果以及充足的土壤种子库对森林植被恢复具有促进作用。在景观和区域尺度量化飓风和台风对沿海地区森林生态系统的影响也日益引起关注, 在这方面, 整合气象数据、遥感数据和地面调查的模型模拟方法起到重要的作用。今后应加强对于我国东南沿海地区森林生态系统遭受台风影响损失的生态监测和长期定位研究, 加强关于台风对于不同森林生态系统类型和不同树种的危害形式和危害程度的研究, 以及台风对于森林生态系统碳、氮循环影响的研究, 弥补我国在以上领域的空白。

关键词:台风; 飓风; 森林生态系统; 生态影响; 碳氮循环

文章编号: 1000-0933(2007)12-5337-08 中图分类号: Q143 文献标识码: A

A review of the impacts of hurricanes and typhoons on forest ecosystems in coastal areas

TONG Chuan, YANG Yu-Sheng

Fujian Provincial University's Key Laboratory of Humid Sub-tropical Eco-geographical Process, Fujian Provincial Key Laboratory of Subtropical Resources and Environment, School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5337 ~ 5344.

Abstract: Hurricanes and typhoons is one of the main climatic disasters in the coastal areas in tropical and temperate zones, and studying their impacts on forest ecosystems is a significant challenge in ecology. This paper reviews the types of damage they cause to trees and forest stands and the factors that influence this damage. The main types of damage include uprooting, loss of the crown, stem breakage, and defoliation. The damage varies as a function of tree species, tree age, forest type, tree height, topographic location, and other characteristics. The vulnerability of a species to damage can be mostly explained by their canopy position. Recovery of forest ecosystems after typhoon and hurricane depends on a combination of seedling growth and resprouting of damaged canopy trees. Non-pioneer species tend to dominate the early recovery process due to their ability to survive the storm and generate new branches. Changes in the litter inputs, litter decomposition rates, and forest carbon pool size after hurricanes and typhoons are complicated, and depend mainly on the

基金项目: 福建师范大学地理科学学院新世纪优秀人才资助项目

收稿日期: 2006-10-16; 修订日期: 2007-04-29

作者简介: 全川(1964~), 男, 河北定洲人, 博士, 教授, 主要从事生态系统过程和管理研究. E-mail: tongch@fjnu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by the New Century Excellent Fellow Foundation, School of Geographical Science, Fujian Normal University

Received date: 2006-10-16; **Accepted date:** 2007-04-29

Biography: TONG Chuan, Ph. D., Professor, mainly engaged in ecosystem process and management. E-mail: tongch@fjnu.edu.cn

stand type, stand location, and elapsed time after disturbance. The recovery pathways and mechanisms relate to the severity of canopy damage on a broad scale, as well as to light and moisture availability. Rapid flowering and fruiting, combined with an adequate soil seed bank, contribute to the recovery of damaged forests. Assessments of the impacts of these storms at landscape and regional scales have also received much attention. These studies used modeling combined with meteorological data, remote sensing, and field surveys to simulate and quantify the impacts and the ecosystem response. Modeling can reveal the effects of topography on wind direction and the relationship between forest damage and the wind speed and duration, and can determine both landscape- and site-level exposure to disturbance. The paper concludes with a discussion of potential directions for future research in China.

Key Words: hurricane; typhoon; forest ecosystem; ecological impact; carbon and nitrogen cycling

热带气旋(tropical cyclone)是指在热带海洋上生成的大气低涡的统称^[1]。热带气旋风力可达到6到12级,甚至更大,并形成常见的热带风暴(tropical storm),包括台风(typhoon)和飓风(hurricane),影响范围包括热带和温带沿海地区。飓风的内涵较广,一般泛指热带风暴以及风力达到12级以上的任何大风,而台风则特指在北太平洋西部生成的强热带风暴,其中,8至11级一般称为台风,12级以上称为强台风甚至超强台风。台风首先在菲律宾以东热带洋面形成,然后影响亚太地区,特别是亚洲地区,包括我国沿海地区及邻近省份。台风破坏力巨大,是影响我国东南沿海区域主要的灾害性天气之一。

飓风和台风危害性巨大,备受关注。对于飓风和台风的研究是气象科学、海洋科学和灾害学研究的热点领域。但是,不论是台风还是飓风,最终影响并造成经济损失和生态影响的还是在陆地表面和近岸海域,特别是沿海区域的森林生态系统。在过去的几十年内,飓风和台风对于热带和温带森林生态系统的影响已受到诸多学者的关注,关于飓风和台风对于森林生态系统树木、林分的影响以及飓风和台风过后森林生态系统的恢复特征较早受到人们的关注^[2~4],近年来,飓风和台风对于森林生态系统碳、氮循环的影响也逐渐开始引起人们的注意^[5~8],但目前高水平研究成果多集中在美国和其他受飓风和台风影响严重的国家和地区,国内相关高水平的研究很少^[9,10]。

本文综述了飓风和台风登陆对于热带和温带沿海地区森林生态系统群落组成、结构和功能的影响以及最新开展的登陆飓风和台风对于碳、氮循环的影响,并提出了今后我国应重点开展的热点研究领域,旨在促进我国在该领域开展系统与深入的生态学研究,填补相应空白。

1 飓风和台风对森林树木的影响

飓风和台风对于森林树木的损害形式表现为连根拔起(uprooting)、主干折断(snapping of stem)、枝条折断(breakage or loss)以及树叶大量吹落(defoliation),其中,树叶脱落是台风造成的最常见损害形式,其次为小枝条折断、大枝条折断、茎折断和连根拔起^[3]。但有些情况下,相对于叶片吹落和枝条折断,连根拔起成为更主要的损害形式,这是因为有时飓风和台风带来特大暴雨,造成土壤水分饱和、根系土壤疏松,进而使大量树木被连根拔起^[4]。1989年9月18日,波多黎各亚热带森林遭受到第4号飓风Hugo的袭击,Zimmerman等对林分和个体树种尺度上树木受损概率和死亡率进行了调查,结果是大约1/4的树木遭到某种形式的破坏,死亡率为9%,通过对23个常见树种的详细调查,发现树木受损可分为2组,第一组的3个种死亡率和树干折断比例较大,同时枝条重新萌发的能力较低,而剩下的树种则构成了第二组,主要以小枝条受损为主要特征^[11]。当然,对于个体树木的影响情况是很复杂的,与树木所处的地形位置以及木质部的密度有关,还与树木大小有关,在飓风David中,大树往往连根拔起,小树折断,而在飓风Jamaica中情况恰好相反,没有得出一致的研究结论^[12]。

树种和林分类型是影响森林遭受台风损害的一个重要因子。Foster通过研究飓风对于美国新英格兰中部地区森林植被的影响,发现在树种水平,生长较快、构成树冠最上层的先锋树种,如杨树(*Populus* spp.)、北美乔松(*Pinus strobus*)、美国赤松(*P. resinosa*)和北美桦(*Betula papyrifera*)比那些生长较慢、主要在树冠最高

层以下的一些树种:山胡桃(*Carya* spp.)、北美红枫(*Acer rubrum*)、*Quercus alba*(黑桦)和黑栎(*Quercus velutina*)更容易遭受严重的破坏;在林分水平,针叶林比硬木林的敏感性大^[4]。同样,通过对美国马萨诸塞州中部森林遭受飓风影响的研究,也发现飓风对于不同森林类型损害的排序为:北美乔松 > 人工针叶林(conifer plantation) > 北美乔松-硬木混交林 > 硬木-北美乔松 > 硬木林^[2]。

1998 年台风瑞伯登陆台湾地区台中市,造成台中市城市生态系统树木遭受破坏,通过调查发现遭受最严重损伤的树种为黄槐(*Cassia surattensis*)、羊蹄甲(*Bauhinia variegata*)、凤凰树(*Delonix regia*)和印度紫檀(*Pterocarpus indicus*),而一些原生树种,如刺桐(*Erythrina variegata* var. *orientalis*)、大叶山榄(*Pouteria obovata*)和枫香(*Liquidambar formosana*),特别是棕榈科树木虽茎干细长,但可以在大风中摇动而不折断,具有较好的抗台风性^[13]。1999 年 9 月 9910 号台风袭击了深圳福田国家级红树林自然保护区,对保护区内人工种植的海桑属树种破坏严重,包括无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)和海桑(*Sonneratia caseolaris*),而保护区内天然红树种类如秋茄(*Kandelia cande*)、桐花树(*Aegicaras corniculatum*)和白骨壤(*Avicennia marina*)基本上没有受到台风的损害^[14]。2001 年 7 月台风尤特侵袭之后,广东汕尾揭东地区城市生态系统树木风倒、风折率较大的树种是黄槐、羊蹄甲、柳树(*Salix* spp)和玉兰(*Michelia alba*),其中玉兰损坏率高达 95%,抗台风性较好的树种有大叶紫薇(*Lagerstroemia speciosa*)、高山榕(*Facua altissima*)和垂叶榕(*Facus benjamina*)等^[15]。

Imbert 等对比研究了飓风 Hugo 对于 Antilles 地区的红树林、雨林以及 Guadeloupe 地区的半常绿林(semi-evergreen forest)造成的损害,结论是种类贫乏、结构均一的红树林损失较严重,而植被结构高度复杂的雨林损失较小,高冠层的树木对于亚层的树木有明显的保护作用;在一个较小区域内,损失具有较大的空间变异,半常绿林破坏的特点是正好介于红树林和雨林之间^[16]。在美国南部地区,对于飓风损害敏感性反应的 2 个极端树种是火炬松(*Pinus taeda*)和落羽松(*Taxodium distichum*),成年火炬松封闭、紧实的树冠远离地面,由于多生长在土质疏松的沙土,根系固着力差,因此,在 1992 年的 Andrew 飓风中,25%~40%的火炬松遭受了破坏;而成年的落羽松有一个高度锥形的树干,根系固着好,同时树冠开放,在同一次飓风中受破坏率不到 10%^[17]。

其次,树龄、树木高度、树冠大小、树木位置以及林分疏密度等因子都会影响到森林遭受飓风和台风损害的形式和程度。Foster 研究揭示了森林遭受损害的程度与林分年龄和高度为正相关关系,与林分树木密度为负相关关系^[4]。1996 年第 15 号台风袭击湛江地区,通过对国营东海林场木麻黄(*Casuarina equisetifolia* L.)试验示范林受损调查发现,冠幅 3.0 m 的木麻黄风斜率为 20.8%,风倒率为 3.5%,风折率为 1.4%,冠幅 1.8 m 的风斜率为 11.8%,风倒率为 2.1%,风折率为 0.4%,结论为树冠大的木麻黄遭台风破坏严重,树冠小的因迎风面小而遭受破坏较轻,此外,还发现木麻黄树高与胸径比值大其风倒率和风折率高,比值小风倒率和风折率低^[18]。1999 年 9 月遭受 9910 号台风袭击的深圳福田国家级红树林自然保护区内,生长缓慢、茎干木材坚硬、树体矮小的秋茄、桐花树和白骨壤等树种遭受破坏很小,而树体高大,树冠庞大浓密的海桑类红林多被吹倒;同时,种植密度为 4 m×4 m 的稀疏无瓣海桑和海桑红树林遭受台风破坏严重,约有 30%~40%的无瓣海桑和海桑被吹倒和折断,种植密度为 1 m×1 m 的稠密海桑林基本未受破坏,仅有 1 株林缘木被风吹倒^[14],与 Foster 研究结论相同。

Bellingham 等^[19]在 1993 年第 13 号强台风登陆并影响日本南部 Yakushima 地区之后的 5 个月内,调查研究了 2 个受台风影响的地点,结果表明台风引起的树干折断死亡率为 0.4%~3.0%,在存折断死亡的树木中有 0.5%~1.3%失去了树冠;不同地点的树种显示了不同的损害方式,位于高海拔、迎风面的树木损害较大,林隙则多在低海拔、近河谷处形成,台风过后,一个调查点的林窗面积达 9.4%,另一个为 8.6%,比台风之前大得多。Zimmerman 等研究了发生于 1998 年 9 月的 Georges 飓风对波多黎各 Luquillo 山棕榈林的危害影响,通过沿着 2 个小溪对空间位置相似,树种组成和土地利用历史不同的 2 个样带的调查,结果发现树高与植株受损相关性最大,最严重的损害发生在位于冠层的棕榈树个体,在飓风过后的 10 个月内,尽管新叶的生长较快,但花和果实的产量在减少^[20]。

2 飓风和台风干扰过后的森林恢复

飓风和台风过后,森林的恢复有其特点。Walker 研究了飓风 Hugo 过后波多黎各森林恢复过程,结果指出新叶和新枝的出现一般较快,一些树种在飓风过后的 2 个星期就有新叶出现,大多数在 7 个星期内新叶出现,没有受到严重损害的茎或仅折断的茎一般比连根拔起的主干新枝抽条现象更普遍;实生苗的萌发数随着凋落物厚度的减少而增多,原因可能为相对的充足阳光照射和养分可获得性,在恢复过程中,一些先锋树种大量增加,原因是开放的郁闭层保证了先锋树种的生长和成熟^[21]。Tanner 等将 30a 的观测数据划分为 3 段:飓风前(1974 ~ 1984 年)、飓风期(1984 ~ 1994 年)和飓风后(1994 ~ 2004 年)研究了发生在 1988 年的飓风 Gilbert 过后 4 个山地雨林动态,30a 间,2 个最初多样性(Shannon index)高的林地,多样性继续增加,分析原因为 8 个强喜光性物种的迅速恢复以及非常见物种多度的增加;树木茎干直径在飓风前阶段,生长非常缓慢,在飓风期和飓风后,生长速度增加^[22]。

1988 年 9 月飓风 Gilbert 袭击了牙买加沿海地区,通过将研究时段划分 3 个阶段:飓风前(1974 ~ 1984 年)、飓风期(1984 ~ 1989 年)和飓风后(1989 ~ 1992 年),Bellingham 等广泛调查了飓风过后森林生态系统树木对于飓风干扰的响应,包括飓风过后森林树木的更新,结果银叶树(*Alchornea latifolia*)、桫欏树(*Cyathea* spp.)等树种在飓风期更新率(recruitment rate)增加,而罗汉松(*Podocarpus* spp.)更新率减少;所有树木基径增量在“飓风前”到“飓风期”时间段内显著减少,而在“飓风后”时间段则急剧增加;发芽和抽条频繁的树种往往是通过种子更新的树种,在局部地段,通过种子发芽可以形成相对高的多度,大多数树种都可以在台风过后形成的林隙中更新^[23]。

飓风过后,森林树种恢复机理形式多样,包括重新发芽、形成实生苗或在由飓风造成的郁闭度空隙迅速生长,在波多黎各,飓风过后的 1.5 ~ 2 a 内实生苗的多度大大增加,种子的脱落量是飓风前的 2 ~ 3 倍,飓风过后的植物物种多样性在一些中等规模空间尺度上(< 10 hm²)增加,但是在更大或更小的尺度上与飓风前相比变化很小;飓风造成的森林受损的恢复途径和机理与大空间范围内树冠的受损严重程度直接相关,当死亡率和结构的损坏程度较轻,恢复通过重新发芽实现,当死亡率和结构破坏严重时,恢复通过早期演替种的重新占领加以实现,不论哪种形式的恢复,光和水分条件的景观格局都将影响到恢复过程;飓风过后优势树种的高存活率可能是飓风 Hugo 过后受损森林迅速恢复的主要原因,此外,及时的开花和结果以及充分的土壤种子库也起到一定的作用^[24]。不耐荫的树种需要一个充足的土壤种子库,以便在冠层树种重新形成冠层之前,占领林隙^[12]。非先锋树种由于容易在台风中保留下来,并在恢复早期阶段占优势并很快萌发出新枝条^[11]。也报道指出飓风对于硬木林的损害使得其蓄积密度在飓风过后近 50 a 还没有达到未损害之前的状态^[25]。

作为一种自然干扰因子,飓风和台风在沿海地区森林更新演替中也起着重要作用。王勤等研究台风对于日本冲绳地区大面积人工琉球松(*Pinus luchuensis* Mayr.)林的影响,结果发现,强台风干扰后,琉球松人工林演替可形成两种群落类型,一是琉球松-峨嵋木荷(*Schima wallichii*)-蕨类群落,多出现于水肥条件较好的凹型坡;二是琉球松-峨嵋木荷群落,多见于干燥的凸型坡,人工琉球松林经台风干扰后,阔叶树种大量侵入,逐渐形成了琉球松常绿阔叶混交林,这种混交林不仅生长稳定,而且抗台风能力明显提高^[26]。

3 飓风和台风对森林生态系统碳、氮循环的影响

飓风和台风对森林生态系统造成的树木连根拔起、树干折断、树冠和叶片脱落,可以使森林生态系统地上活生物量碳转化为死木和凋落物碳。以上植物构件凋落后分解的先后顺序是叶片,然后是枝条、树干和根。目前关于飓风和台风对森林生态系统营养元素循环影响的研究还十分薄弱,飓风和台风造成的凋落物输入增多对土壤碳储存的影响是目前研究的热点。

叶片脱落是飓风和台风造成破坏的最常见形式,飓风和台风导致的凋落物输入量与森林的自身特征相关,包括树木种类、结构、树木叶片量和空间位置。在 Hawaii,由于飓风 Iniki 造成的叶片凋落物输入是前一年凋落物年输入量的 1.4 倍^[27],而在墨西哥干森林(dry forest),飓风造成的凋落物输入是前 4 a 平均值的 1.3 ~ 2.0 倍^[28]。Harrington 等^[29]研究结果表明叶面积指数的减少与飓风前的叶面积指数值和林冠层高度密切

相关。1998 年 9 月 21 日,飓风 Georges 造成了 Puerto Rico 地区湿润热带森林叶片的大量脱落,Ostertag 等^[6]研究了 6 个热带森林林分的凋落物和营养成分的输入,并评价了其中 3 个经历最大凋落物量增加的森林类型(湿润林、橡胶树和棕榈林)在飓风干扰后一年中的地被层分解和营养元素动态,结果表明较高海拔点的棕榈林在飓风前的凋落物量最低,飓风导致的凋落物输入也最低,同时也表现出最慢的分解速率,而湿润林具有一个最大比例的凋落物增加,分解速率与橡胶林相似,表现出较快的分解速率。在湿润林中,凋落物中氮、磷、钙和镁浓度有一个短期的增加,而其他 2 个森林类型营养元素的浓度呈现减少状态。

Erickson 等^[7]运用台风前和台风后调查评价的方法比较了飓风对于氧化亚氮排放的影响,在飓风过后的 7 个月和 27 个月,氧化亚氮排放量是台风前的平均 5 倍和 2 倍;在台风前后,测量评价点的土壤湿度和温度没有明显区别,增加的氧化亚氮排放可能是由于土壤氮转化的改变及无机氮的相对可获得性增强造成。对于海南尖峰岭热带山地雨林天然林生态系统遭受台风影响的研究表明台风暴雨还可以加速森林生态系统养分的流失,特别是磷和铝元素^[10]。

飓风和台风过后,森林凋落物的分解速率是否加快是人们关注的问题。Herbert 等^[27]通过凋落物袋法收集飓风产生的凋落物,开展了一年的分解实验,结果发现新凋落绿叶的分解速率只是在第一个月比早期凋落的棕色叶片快。在哥斯达黎加热带湿润森林,新近凋落的叶片在树冠开放下的分解速率并不比在树冠紧闭情况下快^[30]。Sullivan 等^[31]研究也表明飓风引起的树冠开放程度并没有增加这些森林的凋落物分解速率,飓风 Hugo 过后的 100 d 内,不同树种、地点和地形条件下组合下的凋落物袋法内的叶片重量的减少往往比飓风登陆之前还慢。

当然,飓风和台风还可以在另一个时间和空间尺度影响到生态系统的养分循环。当热带风暴对于森林的破坏更多是以树木连根拔起和树干折断落地的形式出现,则可以在十几年的时间尺度上影响森林地上和地下土壤碳、氮循环。McNulty^[5]估算出飓风 Hugo 造成了美国森林增加了 20 Tg 的粗大植物残体碳库。地上活植物体碳库的减少与地面粗大植物残体碳库和地下土壤碳的增加是对应的。Zimmerman 等^[32]研究表明热带湿润森林飓风过后的地上生物量恢复和粗大木质残体分解需要在一个较长的时间尺度内才能完成。Sanford 等^[33]应用 Century 模型预测了反复的飓风对于 Caribbean 森林土壤营养物质和森林生产力的影响,预测的结果是土壤营养物质浓度和森林长期生产力增加,但预测的结果并没有进行验证。

飓风和台风以树木连根拔起和树干折断落地形式损害的更多的是成熟林木,成熟林木比年轻林木具有较低的净初级生产力速率,同时,上层成熟林遭受破坏,会使下层的林分以更高生产力快速生长,因此,热带风暴过后,森林可能会有更大的碳截获能力。但是,McNulty^[5]指出飓风造成的森林土壤种子库萌发、实生苗生长以及土壤营养库的变化是否会增加或减少森林总碳储存量及相对贡献率大小还有待深入研究。

飓风和台风除了对森林生态系统碳、氮循环产生影响以外,同时也对山地森林生态系统水文学过程(包括降雨分配和径流)产生影响。周光益等研究了台风和强降水对于海南岛尖峰岭热带雨林生态系统水文学过程的影响,结果表明台风对于研究区域森林集水区径流的增加起着重要的作用,特别是台风引起的快速径流量年平均 255.7 mm,占年总快速径流量的 74.96%,同时,以茎流形式进入树木根部土壤中的水分,49.34%是由台风过程造成的^[9]。

4 飓风和台风对森林景观的影响

在景观和区域尺度研究飓风和台风对沿海地区森林生态系统的影响,掌握飓风和台风对于森林生态系统的干扰和破坏规律,可使管理者更好地在景观和区域尺度保护森林生态系统健康。在点尺度,关于飓风和台风对于森林生态系统的影响有较多研究报道,但是在景观和区域尺度的研究则鲜见报道。

飓风和台风引起的森林生态系统损坏模式复杂,是气象、自然地理和生物因子在一定的空间范围相互作用的结果。Boose 等^[34, 35]提出了一个考虑到气象、自然地理和生物因子及飓风干扰过程的整合模型以期在区域尺度评价飓风过程及其对森林生态系统的影响。该整合模型主要由飓风气象模型(HURRECON)和地形暴露模型(topographic exposure model, EXPOS)组成。其中飓风气象模型利用气象数据重新构建一个飓风过程

中特定研究点的风况以及区域梯度上的风速和风向,即构建一个飓风表面风场;地形暴露模型利用气象模型预测的风向及数字高程图评价区域尺度对于最大强度风的暴露程度,森林生态系统的实际损失主要由遥感数据及历史记载和野外数据综合评价,并绘制出研究区飓风损失图。

该整合模型评价了发生在 1989 年的 Hugao 飓风,并模拟评价了自 1620 年欧洲人在新英格兰地区定居以来,该区域所遭受的飓风过程和森林生态系统遭受的损失。在分析和评价各次登陆飓风对森林生态系统的破坏等级时,采用了美国国家气象局颁布的评价飓风损害的分级标准(Fujita scale),并做微小的修改,飓风损害共分 4 级:F0 到 F3,其中,从 F0 到 F3,持续风速分别为 18~25、26~35、36~47 m/s 和 48~62 m/s,树木损害表现为:F0,部分叶片和果实脱落、树枝折断;F1,一部分树木被刮倒;F2,较多的树木被刮倒;F3,多数树木连根拔起和主干折断。此外,还计算出在新英格兰地区不同受损程度的森林恢复到原初状态所需要的平均时间长度,指出森林受损程度受到土地利用和干扰历史的强烈影响。

1999 年地震,2000 年台风 Xangsang 和 2001 年台风 Toraji 在台湾东部和中部地区造成了较大的破坏,Lin 等^[36]应用遥感影像和景观格局指数评价了台风对于 Chenyulan 流域景观格局的影响,结论是以上干扰产生了不同类型的破碎化斑块,斑块的大小、形状和复杂性都发生了改变。

5 结语

台风和飓风对于森林生态系统的影响一直受到生态学家的关注,在美国的佛罗里达、亚拉巴马、密西西比、路易斯安娜海岸、日本南部海岸和我国台湾地区,该领域的研究已经取得了相当多的成果。研究表明:不同的森林类型对飓风和台风的响应是不同的,个体树木的响应模式也是很复杂的,响应随着树木种类、树木所处的地形位置、树木木质部密度及树高与胸径比值等因子而变化;在碳氮循环影响方面,可以确定的是飓风和台风造成的森林地被层凋落物增多是短时间尺度内土壤营养成分输入的一个重要来源。

作为亚太地区受台风影响最严重的国家之一,我国每年台风登陆频繁,并对东南沿海地区造成巨大的人员和经济财产损失,也包括对于沿海区域森林生态系统的影响。但是,关于台风对于森林生态系统结构和过程的影响研究在我国几乎是一个空白,这与我国频繁遭受的台风危害极不相称,今后应加强该方面的系统研究,以提高我国在评价台风造成的生态影响方面的国际影响力,以下几个方面的研究可逐步展开:

(1) 台风对森林树木影响分析

根据台风登陆我国的主要路径和影响区域,结合我国东南沿海热带和亚热带地区不同森林生态系统类型,系统开展不同森林类型、不同林层、不同树木种类、不同林龄及不同地形位置树木对台风影响的生态响应。

(2) 台风干扰后的森林恢复

干扰后的生态恢复是恢复生态学中的重要部分,作为一种重要的干扰形式,台风过后,森林恢复进程中的土壤种子库种子萌发现象与机理、实生苗数量与恢复速度和森林更新演替过程和速率等都需要深入的研究。

(3) 台风对森林生态系统碳循环的影响

针对我国东南沿海的红树林、木麻黄海岸防护林、南亚热带雨林、大面积的亚热带人工马尾松林、黄山松林、杉木林以及亚热带常绿阔叶林和竹林,开展台风过后的森林凋落物输入和分解、地上活植物体碳库减少、地面粗大植物残体碳库以及地下土壤碳库增加的研究。

(4) 台风对氮、磷等营养元素流失影响

我国东南沿海地区,如福建和海南地区多丘陵山地,台风往往会造成丘陵山地森林生态系统的山洪、泥石流和大量塌方,进而造成养分的不同程度流失。深入研究台风影响下的不同森林生态系统、不同土壤类型、不同径流量下的氮、磷、铝、铁等元素的流失规模与机理以及对下游河流水质,甚至出海口水域的影响,都会带来新的研究结论。

(5) 森林区域景观尺度台风生态破坏评价与价值评估

结合不同分辨率遥感信息源、地理信息系统技术、气象数据、地面调查及台风灾害损失历史资料,建立区域尺度森林生态系统台风损害过程模拟模型、台风森林生态破坏预测系统、损害度评价系统和损害价值评估

系统,更好地配合台风的气象学和水文学研究,为国家减灾防灾计划,台风损失评估工作及生态重建提供决策支持。

References:

- [1] Editors of Geography. Geography dictionary. Shanghai: Shanghai Dictionary Press, 1983. 573.
- [2] Foster D R, Boose E R. Patterns of forest damage resulting from catastrophic wind in central New England, USA. *Journal of Ecology*, 1992, 80: 79—98.
- [3] Brokaw N V, Walker L, Lawrence R. Summary of the effects of Caribbean hurricanes on vegetation. *Biotropica*, 1991, 23: 442—447.
- [4] Foster D R. Species and stand response to catastrophic wind in central New England, U. S. A. *Journal of Ecology*, 1998, 76: 135—151.
- [5] McNulty S G. Hurricane impacts on US forest carbon sequestration. *Environmental Pollution*, 2002, 116: 17—24.
- [6] Ostertag R, Scatena F S, Silver W L. Forest floor decomposition following hurricane litter inputs in Puerto Rican forests. *Ecosystems*, 2003, 6: 261—273.
- [7] Erickson H E, Ayala G. Hurricane-induced nitrous oxide fluxes from a wet tropical forest. *Global Change Biology*, 2004, 10: 1155—1162, doi: 10.1111/j.1529-8817.2003.00795.
- [8] Lin T C, Hamburg S P, Hsia Y J, *et al.* Influence of typhoon disturbances on the understory light regime and stand dynamics of a subtropical rain forest in northeastern Taiwan. *Journal Forest Research*, 2003, 8: 139—145.
- [9] Zhou G Y, Chen B F, Zeng X B, *et al.* Hydrological effects of typhoon and serve tropical storm on the regenerative tropical mountain forest at JianFenLing. *Acta Ecologica Sinica*, 1996 16(5): 555—558.
- [10] Zhou G Y. Influence of a typhoon storm on nutrients geo-chemical cycling in tropical mountain rainforest ecosystem. *Journal of Beijing Forestry University*, 1998, 20: 36—40.
- [11] Zimmerman J K, Everham E M, Waide R B, *et al.* Responses of tree species to hurricane winds in subtropical wet forest in Puerto Rico: implications for tropical tree life histories. *Journal of Ecology*, 1994, 82(4): 911—922.
- [12] Tanner E V, Kapos J V, Healey J R. Hurricane effects on forest ecosystems in the Caribbean, Part A: ecosystem, plant, and animal responses to Hurricanes in the Caribbean. *Biotropica*, 1991, 23(4): 513—521.
- [13] Zhang J Y. A survey of typhoon damaged to trees in Taichung. *Journal of Tunghai*, 2000, 41: 149—160.
- [14] Chen Y J, Zhen D Z, Liao B W, *et al.* Researches on typhoon damage to mangroves and preventive measures. *Forest Research*, 2000, 13 (5): 524—529.
- [15] Huang L. Survey of the damage of Typhoon YouTe on the road trees in Jie Dong City and strategies. *Guangdong Gardens*, 2002, 4: 25—29.
- [16] Imbert D, Labbe P, Roustean A. Hurrican damage and forest structure in Guadeloupe, French West Indies. *Journal of Tropical Ecology*, 1996, 12 (5): 663—680.
- [17] Davis G E, Loope L L, Roman C T, *et al.* Effects of Hurricane Andrew on natural and archeological resources (Technical Report NPS/NRCCC/NRTR/ 96-02), 1996.
- [18] Chen S Z, Cen F, Wu Z P. Analysis on typhoon-resistance of sandy coast windbreak and sand fixation *Casuarina equisetifolia* test forest. *Guangdong Forestry Technology*, 1999, 15(1): 26—30.
- [19] Bellingham P J, Takashi Kohyama, Shin-ichiro Aiba. The effects of a typhoon on Japanese warm temperate rainforests. *Ecological Research*, 1996, 11(3): 229—247.
- [20] Zinnerman J K, Covich A P. Damage and recovery of riparian sierra palms after Hurricane Georges: influence of topography and biotic characteristics. *Biotropica*, 2007, 39: 43—49.
- [21] Walker L. R. Tree damage and recovery from Hurricane Hugo Luquillo experimental forest, Puerto Rico. *Biotropica*, 1991, 23: 379—385.
- [22] Tanner E V J, Bellingham P J. Less diverse forest is more resistant to hurricane disturbance: evidence rain forest in Jamaica. *Ecology*, 2006, 94 (5): 1003—1010.
- [23] Bellingham P J, Tanner E V, Healey J R. Damage and responsiveness of Jamaican Montane tree species after disturbance by a Hurricane. *Ecology*, 1995, 76(8): 2562—2580.
- [24] Turner M G, Dale V H, Everham III E H. Fires, hurricanes and volcanoes: comparing large disturbances. *BioScience*, 1997, 47: 758—768.
- [25] Merrens E J, Peart D R. Effects of hurricane damage on individual growth and stand structure in a hardwood forest in New Hampshire, USA. *Journal of Ecology*, 1992, 80, 787—795.
- [26] Wang Q, Xu X N, Eiji Hirata. Community characteristics of *Pinus luchuensis* forests after typhoon disturbance in Okinaw an Island, Japan. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2003, 30: 400—406.

- [27] Herbert D A, Fownes J H, Vitousek P M. Hurricane damage to a Hawaiian forest: nutrient supply rate affects resistance and resilience. *Ecology*, 1999, 80(3): 908—920.
- [28] Whigham D F, Olmsted I, Cano E C, *et al.* The impact of Hurricane Gilbert on trees, litter fall, and woody debris in a dry tropical forest in the northeastern Yucatan Peninsula. *Biotropica*, 1991, 23: 434—441.
- [29] Harrington R A, Fownes J H, Scowcroft P G, Vann C S. Impact of Hurricane Iniki on native Hawaiian *Acacia koa* forests: damage and two-year recovery. *J. Trop Ecol.*, 1997, 13: 539—558.
- [30] Denslow J S, Ellison A M, Sanford R E. Tree fall gap size effects on above- and belowground processes in a tropical wet forest. *Journal of Ecology*, 1998, 86: 597—609.
- [31] Sullivan N H, Bowden W B, McDowell W H. Short-term disappearance of foliar litter in three species before and after hurricane. *Biotropica*, 1999, 31: 382—393.
- [32] Zimmerman J K, Pulliam W M, Lodge D J, *et al.* Nitrogen immobilization by decomposing woody debris and the recovery of tropical wet forest from hurricane damage. *Oikos*, 1995, 72: 314—322.
- [33] Sanford J, Parton R L, Ojima W J, *et al.* Hurricane effects on soil organic matter dynamics and forest production in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico: results of simulation modeling. *Biotropica*, 1991, 23: 364—372.
- [34] Boose E R, Foster D R. Hurricane impacts to tropical and temperate forest landscapes. *Ecological Monographs*, 1994, 64(4): 369—400.
- [35] Boose E R, Chamberlin K E, Foster D R. Landscape and regional impacts of hurricanes in New England. *Ecological Monographs*, 2001, 71(1): 27—48.
- [36] Liu Y S, Chang T K, Wu C F, *et al.* Assessing impacts of typhoons and the Chi-Chi Earthquake on Chenyulan Watershed landscape pattern in Central Taiwan using landscape metrics. *Environmental Management*, 2006, 38(1): 108—125.

参考文献:

- [1] 地理学词典编辑委员会. 地理学词典. 上海: 上海辞书出版社, 1983. 573.
- [9] 周光益, 陈步峰, 曾庆波, 等. 台风和强热带风暴对尖峰岭山地雨林生态系统的水文影响研究. *生态学报*, 1996, 16(5): 555—558.
- [10] 周光益. 台风暴雨对热带林生态系统地球化学循环的影响. *北京林业大学学报*, 1998, 20: 36—40.
- [13] 章锦瑜. 台风对台中市乔木破坏调查. *东海学报*, 2000, 41: 149—160.
- [14] 陈玉军, 郑德璋, 廖宝文, 等. 台风对红树林损害及预防的研究. *林业科学研究*, 2000, 13(5): 524—529.
- [15] 黄龙. 台风“尤特”对揭东市城区行道树破坏情况调查及应对对策. *广东园林*, 2002, 4: 25—29.
- [18] 陈绶柱, 岑奋, 吴泽鹏. 沿海沙岸防风固沙木麻黄试验示范林抗御台风分析. *广东林业科技*, 1999, 15(1): 26—30.
- [26] 王勤, 徐小牛, 平田永二. 日本冲绳岛琉球松林台风干扰后的群落特点. *安徽农业大学学报*, 2003, 30: 400—406.