文章编号:1000-5641(2014)01-0079-11

台风干扰对天童常绿阔叶林凋落物量的影响

王樟华[1,2], 王希华[1,2], 沈国春[1,2]

(1. 华东师范大学 环境科学系,上海 200062;
2. 浙江天童森林生态系统国家野外观测研究站,浙江 宁波 315114)

摘要: 为探讨台风干扰对亚热带常绿阔叶林凋落物总量、组成和时间动态变化的影响,对浙江天童山 2 种常绿阔叶林类型——栲树(*Castanopsis fargesii*)群落和木荷(*Schima superb*)群落的凋落物进行了为期 5 年(2008—2012)的观测研究. 结果显示:天童栲树林和木荷林的年平均凋落物量分别为 6.465 t·hm^{-2}和 6.947 t·hm^{-2},台风影响年的年凋落量和台风季节月均凋落量均高于无台风影响年. 两种群落类型的总凋落物组成比例皆为叶>枝>碎屑>花>果>树皮,其中叶比例约占 70%,枝比例约占 17%;台风影响年与无台风影响年相比,叶比例有所下降,枝条比例明显上升. 台风影响年与无台风影响年的凋落量时间动态不同,无台风影响年两种群落类型的凋落高峰发生在春季(4—5 月)和秋末(10—11 月),均为双峰型;台风影响年凋落模式为三峰型,凋落高峰发生在春季、台风季和秋季. 两种群落的叶凋落时间动态在不同台风影响年份有所区别,在台风干扰较弱的年份(2008、2009 和 2011 年)栲树林叶凋落动态为双峰型、木荷林为三峰型;在台风干扰强度较大的年份(2012 年),两种群落类型的叶凋落动态均为三峰型,这说明台风干扰能改变亚热带常绿阔叶林的时间动态,且台风强度对不同森林群落的干扰程度存在差异.

关键词: 台风干扰; 常绿阔叶林; 凋落物; 时间动态; 天童

中图分类号: Q948 **文献标识码**: A **DOI**:10.3969/j.issn.1000-5641.2014.01.010

Effects of typhoon disturbance on the litter production in an evergreen broad-leaved forest in the Tiantong, Zhejiang

WANG Zhang-hua[1,2], WANG Xi-hua[1,2], SHEN Guo-chun[1,2]

(1. *Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai* 200062, *China*;
2. *Tiantong National Observation Station of Forest Ecosystem, Ningbo Zhejiang* 315114, *China*)

Abstract: To understand the effects of typhoon disturbance on the production, composition, temporal dynamics of litter in subtropical evergreen broad-leaved forest, a 5-year study from January 2008 to December 2012 on two types of evergreen forests, *C. fargesii* community and *S. superba* community, in Tiantong, Zhejiang, was carried out. Average annual litterfall are 6.465 t·hm^{-2} and 6.947 t·hm^{-2} in *C. fargesii* community and *S. superba* community,

收稿日期:2013-02
基金项目:国家自然科学基金重大国际合作项目(31210103920)
第一作者:王樟华,男,硕士研究生,研究方向为生态学. E-mail: wangzh19881213@gmail.com.
通信作者:沈国春,男,教师,研究方向为植被生态学. E-mail: shenguochun255@hotmail.com.

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

respectively. Annual litter production and monthly litterfall in typhoon season were both significantly higher in typhoon years than that in normal years. Orders of proportions of different sorts litterfall in the two types of communities are leaves > twigs >detritus >flowers >barks. The total leaves production accounted for about 70% of total litter. Proportion of twigs reached about 17%. Proportion of leaves declined from typhoon years to normal years, while the proportion of twigs had an opposite trend. The dynamics of monthly litter production in both communities followed a bimodal distribution (with peaks in April-May and October-November) in normal years, and trimodal distribution (with an extra peak in typhoon season.) in typhoon years. The dynamic of monthly leaves production was different between the two types of communities in different typhoon years. It had two peaks in *C. fargesii* community and had three peaks in *S. superba* community in the years (2008, 2009 and 2011) with weak typhoon disturbance. However, it showed three peaks in both communities in the year (2012) with strong typhoon disturbance. These results suggested that typhoon disturbance can change the dynamics of litterfall in subtropical evergreen forest, and these impactions may various in different types of communities under different strengths of typhoon.

Key words: typhoon disturbance; evergreen broad-leaved; litterfall; temporal dynamics; Tiantong

0 引 言

森林凋落物是指由生物组分产生并最终归还到地表的有机物总称[1]. 它是森林生态系统中物质循环和能量流动的主要环节,在维持土壤肥力,促进生态系统正常的物质循环和养分平衡方面起着重要的作用,且一直是生态系统功能的重要研究内容之一[2-4]. 凋落物产量作为凋落物研究中的重要内容,受到国内外学者的广泛关注,相关研究表明,凋落物产量受到气候、森林类型、群落结构的多重影响[5-10]. 此外,自然干扰也是影响凋落物量的一个重要因子[11-13]. 随着全球气候变化的加剧,极端气候事件频发,气候灾害(如冰雪灾害、台风)对凋落物特征的影响已经成为新的研究热点[11,12,14-17].

台风是干扰沿海森林生态系统的主要生态因子之一,具有降雨强度大和风速快的特点,可以造成大量的"非正常凋落物"[13]. 近年来,多国学者相继开展关于台风对凋落物量影响的研究,北美地区的研究结果表明,飓风干扰可显著增加森林凋落物量[18,19];东亚地区的研究发现,台风的强度与频度与凋落物量呈正相关,台风干扰可显著增加枝凋落量,对叶凋落物总量无显著影响[15-17]. 尽管在热带亚热带地区,台风干扰对凋落量影响的研究已有报道[15-21],但在阐述凋落物组成及时间动态对台风干扰响应方面少有涉猎. 凋落物各组分养分含量有所不同,组成上的变化可改变凋落物养分归还量,进而影响群落的养分循环,且凋落量的时间动态变化与群落更新存在着密切的联系,因此开展台风干扰对凋落物组成及其时间动态影响的研究具有重要意义[7,14-17].

宁波天童位于我国中亚热带最东端的低山丘陵地区,该地森林植被保存良好,以栲树(*Castanopsis fargesii*)、木荷(*Schima superba*)、米槠(*Castanopsis carlesii*)、云山青冈(*Cyclobalanopsis sessilifolia*)等为优势种的常绿阔叶林生态系统,反映了中亚热带东部低海拔森林生态系统的典型特征[22]. 该地靠近海岸线,长期受东亚季风影响,海洋性气候特征显

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

著，台风等自然因素的干扰频繁，是研究台风干扰对亚热带常绿阔叶林凋落物量动态影响的理想场所[23]. 本文以浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站（简称天童国家站）常绿阔叶林综合观测场栲树（*Castanopsis fargesii*）群落（以下称之为"栲树林"）和木荷（*Schima superba*）群落（以下称之为"木荷林"）为研究样地，从凋落物的总量和组成、凋落量的时间动态两个方面来阐述凋落物量对台风干扰的响应.

1　研究区域概况

1.1　研究区域概况

天童国家站位于宁波市鄞州区东南部的天童国家森林公园（北纬 29°48′，东经 121°47′），森林公园面积 349 hm^2. 该地气候为温暖湿润的亚热带季风气候，年平均气温为 16.2 ℃，最热月为 7 月，月平均温度为 28.1 ℃；最冷月为 1 月，月平均气温为 4.2 ℃. 年降水量 1 374.7 mm，多集中在夏季（6—8 月），期间降雨量占全年的 35%—40%；冬季（12 月—翌年 2 月）冷而干燥，雨量仅占全年的 10%—15%，春季雨量一般大于秋季. 由于多雨且临海，年平均相对湿度为 82%，变率不大. 年蒸发量为 1 320.1 mm[22]. 研究期间天童站的月均温、月均降水量和最大风速见图 1.

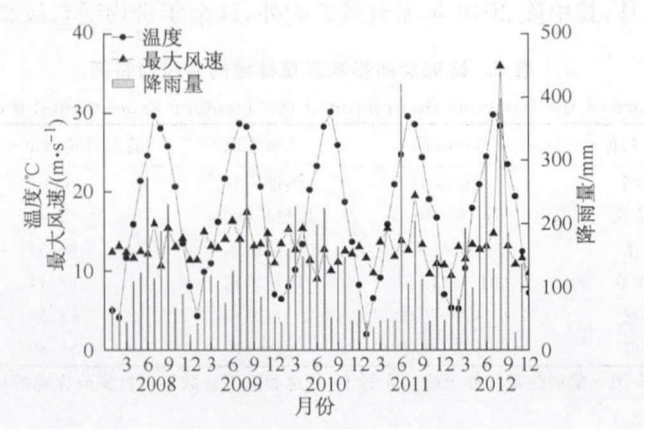


图 1　天童地区月均温、月均降水量和月最大风速的变化

Fig. 1　Monthly variation of air temperature, rainfall and max. wind speed in the Ttiantong station

1.2　样地概况

研究样地选取天童国家站两个常绿阔叶林综合观测场栲树林和木荷林，每个样地投影面积为 0.25 hm^2（50 m×50 m）. 样地群落特征见表 1.

表 1　天童常绿阔叶林不同类型群落的群落特征

Tab. 1　Characteristics of two types of forest communities in the Tiantong Evergreen Broad-leaved Forest

群落类型	年龄/a	个体数	胸断面积/m^2	优势种
栲树群落	150	623	29.637	栲树 *Castanopsis fargesii*、木荷 *Schima superba*、枫香 *Liquidambar formosana*
木荷群落	90	1350	35.059	木荷 *Schima superba*、石栎 *Lithocarpus glaber*、马尾松 *Pinus massoniana*

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2 研究方法

2.1 凋落物收集

2007 年底,在样地内按倒"品"字形划分出 3 个面积为 225 m^2 的凋落物收集区,在每个收集区内布置 3 排收集框,每排 3 个,每框间隔 5 m,共计 27 个.收集框由 PVC 管和尼龙网组成,面积为 0.5 m^2,收集框平均高度约为 0.6 m,尼龙网孔径为 1mm,平均深度为 0.33 m,每个样地总收集面积为 13.5 m^2.

2008 年 1 月开始每月月底收集一次凋落物,截至 2012 年 12 月底,共收集了 60 个月份.将凋落物带回实验室,分成叶、枝、花、果、树皮和碎屑(主要为虫鸟粪、小动物残体和各种无法分辨的碎屑等).将各组分凋落物在 80 ℃烘干至恒重,用精度为 0.01 g 的电子天平称量干重并记录.

2.2 台风记录

根据中国气象局关于热带气旋等级划分的国家标准,热带气旋底层中心附近最大风速大于 17.2 $m \cdot s^{-1}$ 为热带风暴.热带气旋 7 级(风力大于 15 $m \cdot s^{-1}$)风圈半径区域可认为是受台风影响区域[16].在研究期间,共观测到 6 个对天童地区有影响的台风(见表 2),所有台风都发生在 6—9 月,其中除 2010 年无台风影响外,其余年份均受台风影响.

表 2 研究期间影响天童样地的台风的特征

Tab. 2 Characteristics of the typhoons that impacted the Tiantong experimental forest from 2008 to 2012

年份	台风名称	影响时间	风暴等级	最大风速/($m \cdot s^{-1}$)	降雨量/mm
2008	海鸥	7 月 19 日	热带风暴	16.01	124.8
	森拉克	9 月 15—16 日	强热带风暴	15.48	40.6
2009	莲花	6 月 22 日	热带风暴	16.33	91.6
	莫拉克	8 月 9—12 日	热带风暴	17.44	184.6
2011	梅花	8 月 6—7 日	台风	19.50	102.8
2012	海葵	8 月 7—9 日	强台风	35.80	321.4

注:风暴等级划分根据中国气象局热带气旋等级国家标准,风速和降雨量数据来自实验样地的林内气象塔

2.3 数据分析

将研究年份划分为台风影响年(2008、2009、2011 和 2012 年)和无台风影响年(2010 年),将台风出现的月份 6—9 月定为台风季节.

年凋落量为单位面积一年内收集到的凋落物量,台风季节月均凋落量为台风发生季节(6—9 月)4 个月的月平均凋落物量.凋落物组成比例由凋落物各组分量占年总凋落物量的比例计算得出.

采用方差分析检验两个群落类型间的年凋落量(5 年,每年 27 个值,总计样本量为 135)是否存在显著性差异.采用方差分析检验台风影响年台风季节月均凋落量(4 个台风影响年,每年 27 个值,总计样本量为 108)和无台风影响年的台风季节月均凋落量(1 个无台风影响年,总计样本量为 27)是否存在显著差异,用以判断台风干扰是否对森林凋落量造成直接影响,进一步检验台风影响年的年凋落量(4 个台风影响年,每年 27 个值,总计样本量为 108)和无台风影响年的年凋落量(1 个无台风影响年,每年 27 个值,总计样本量为 27)是否存在显著差异,判断台风干扰是否对森林年凋落量产生影响.作图使用 Originpro8.0 软件、统计分析用 SPSS18.0 软件完成.

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3　结果与分析

3.1　凋落物总量及其组成

栲树林的年凋落总量为 4.771～8.488 t·hm^{-2}，年平均凋落物量 6.465 t·hm^{-2}，变异系数为 25.28%；木荷林的年凋落物量为 5.396～8.745 t·hm^{-2}，年平均凋落物量 6.947 t·hm^{-2}，变异系数为 23.48%，方差分析表明，两个群落类型间的年凋落量无显著差异（$df=269, F=3.089, p=0.052$）. 两种群落类型的凋落物组成比例皆为叶＞枝＞碎屑＞花＞果＞树皮，叶是凋落物中最主要的组分，约占年总量的 70%，枝条亦是凋落物的重要组分，比例约占年总量的 17%. 台风影响年与无台风影响年相比，凋落物各组分中，叶、花和果的比例有所下降，其他组分比例上升，枝条比例上升明显（见图 2）.

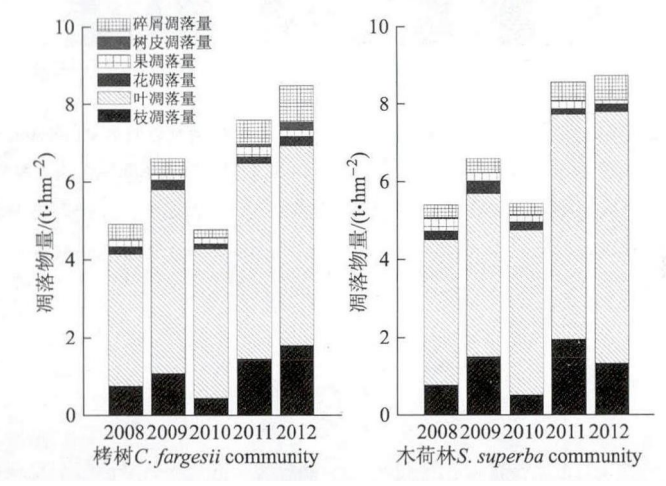


图 2　两种群落类型不同年份凋落物的总量及其组成

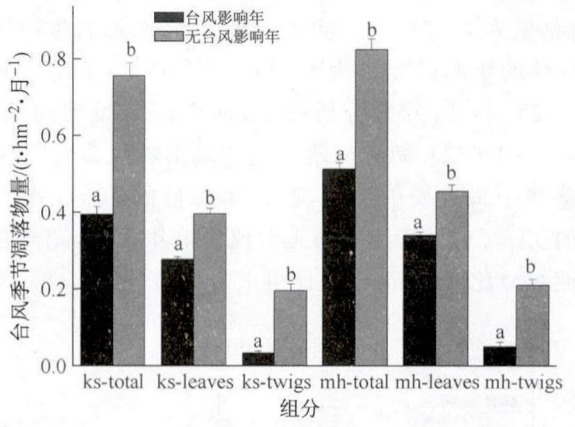
Fig. 2　Annual productions and compositions of litterfall in *C. fargesii* community and *S. superba* community

对不同年份台风季节（6—9 月）月均凋落量进行分析对比，可以反映出台风干扰对凋落量的直接影响（见图 3）. 两种群落类型中，台风影响年的台风季节月均凋落总量、月均枝凋落量和月均叶凋落量均显著高于无台风影响年（栲树林台风季节月均凋落总量：$df=134, F=26.492, p<0.001$；栲树林台风季节月均叶凋落量：$df=134, F=18.482, p<0.001$；栲树林台风季节月均枝凋落量：$df=134, F=22.821, p<0.001$；木荷林台风季节月均凋落总量：$df=134, F=29.078, p<0.001$；木荷林台风季节月均叶凋落量：$df=134, F=9.510, p<0.01$；木荷林台风季节月均枝凋落量：$df=134, F=25.458, p<0.001$）. 台风干扰显著地增加了台风季节的凋落物枝、叶组分输入量，尤其是月均枝凋落量，为无台风影响年的 4—5 倍（栲树林 554.80%、木荷林 404.97%）.

就年凋落总量及其枝、叶年凋落量而言，台风影响年各项指标均显著高于无台风影响年（栲树林年凋落总量：$df=134, F=26.240, p<0.001$；栲树林叶年凋落量：$df=134, F=12.087, p<0.001$；栲树林枝年凋落量：$df=134, F=21.136, p<0.001$；木荷林年凋落总量：$df=134, F=30.439, p<0.001$；木荷林叶年凋落量：$df=134, F=11.129, p<0.01$；木

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

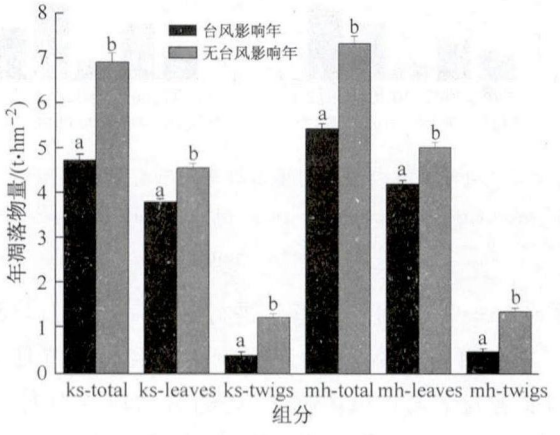
荷林枝年凋落量:$df = 134, F = 22.009, p < 0.001$)(见图 4). 其中,台风干扰对枝年凋落量影响最大,相较于无台风影响年,栲树林和木荷林分别增加了 191.58%和 167.85%.



注:ks-total 为栲树林凋落总量,ks-leaves 为栲树林叶凋落量,ks-twigs 为栲树林枝凋落量,mh-total 为木荷林凋落总量,mh-leaves 为木荷林叶凋落量,mh-twigs 为木荷林枝凋落量;a,b 不同字母在不同柱上表示差异显著($p < 0.05$)

图 3 无台风影响年和台风影响年凋落物各组分的台风季节月均凋落量对比

Fig. 3 Comparisons of monthly litter production in typhoon seasons between normal years and typhoon years



注:ks-total 为栲树林凋落总量,ks-leaves 为栲树林叶凋落量,ks-twigs 为栲树林枝凋落量,mh-total 为木荷林凋落总量,mh-leaves 为木荷林叶凋落量,mh-twigs 为木荷林枝凋落量;a,b 不同字母在不同柱上表示差异显著($p < 0.05$)

图 4 无台风影响年和台风影响年凋落物各组分的年凋落量对比

Fig. 4 Comparison of annual litter production between normal years and typhoon years

3.2 凋落量的时间动态

两类常绿阔叶林凋落物总量及其组分的月凋落量动态均呈现出明显的季节规律(见图 5 和图 6). 其中,叶凋落量的月变化模式与凋落物总量的趋势基本一致,在台风影响年的台风季节,枝凋落量对总量动态有着明显影响,台风影响年的凋落量动态与无台风影响年有明显不同.

无台风影响年栲树林和木荷林凋落总量季节动态为双峰型,凋落高峰发生在春季(4—5

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

月）和秋末（10—11 月）；叶凋落模式也为双峰型，高峰期也是在春季和秋末；枝凋落模式为双峰型，主要发生夏季和冬季；花凋落模式为单峰型，凋落高峰在 6 月前后；碎屑凋落模式为单峰型，高峰期在夏季；果和树皮的凋落模式不规则.

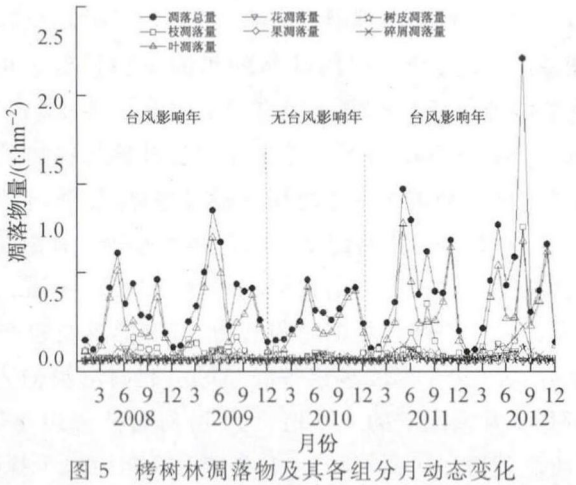


图 5　栲树林凋落物及其各组分月动态变化

Fig. 5　Monthly dynamics of litterfall in *C. fargesii* community

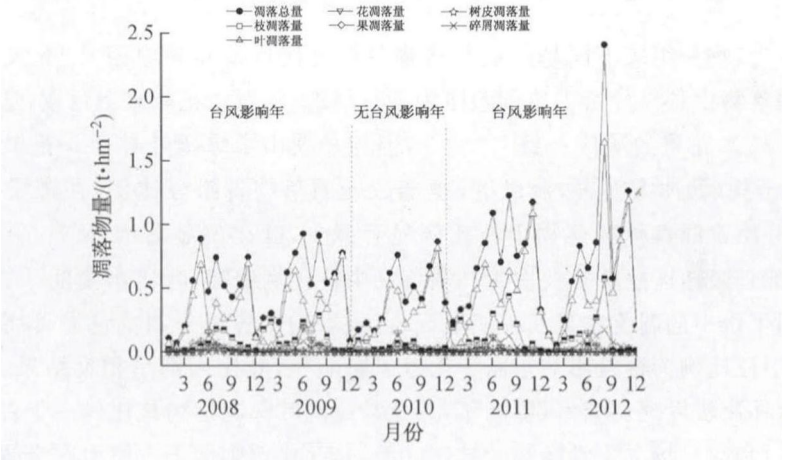


图 6　木荷林凋落物及其各组分月动态变化

Fig. 6　Monthly dynamics of litterfall in *S. superba* community

台风影响年栲树林和木荷林凋落总量季节动态皆为三峰型，凋落高峰分别发生在春季（4—5 月）、台风季和秋末（10—11 月）；枝条主要在台风季和冬季凋落，台风季节的枝凋落量占全年枝凋落量的 60%左右；花、果、碎屑、树皮凋落模式与无台风影响年无异. 两种群落的叶凋落模式不同，栲树林叶凋落时间动态在前三个台风年份（2008、2009 和 2011 年）表现为双峰型，第一高峰出现在春季（4—5 月），第二高峰在秋末（10—11 月），而在 2012 年则为三峰型，除在春秋季形成凋落高峰外，最大高峰出现在台风发生的 8 月份；木荷林叶凋落模式与其凋落总量动态趋势一致，为三峰型，高峰期发生月份也与总量趋势较一致，叶凋落最高

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

峰在秋末,次峰在春季,第三个峰出现在台风季节.

4 讨 论

4.1 台风对森林凋落总量及其组成的影响

森林年凋落物量受气候、森林类型等因素影响[6,24].以往的研究结果表明森林年凋落物量与纬度呈极显著负相关[1,6].天童常绿阔叶林的年凋落物量低于南亚热带常绿阔叶林(8.45 t·hm^{-2})[25]、热带山地雨林和季雨林(9.177 t·hm^{-2},8.42 t·hm^{-2})[26,27],高于北亚热带次生常绿阔叶林(3.51 t·hm^{-2})[28]和温带常绿针叶林和针阔混交林(2.472,4.146 t·hm^{-2})[24],年凋落物量总体符合由南向北的纬度递减趋势.此外,台风干扰也能影响森林年凋落物量.天童常绿阔叶林与古田山常绿阔叶林同属中亚热带常绿阔叶林,气候条件和植被类型较为接近,年凋落物量却高于古田山常绿阔叶林(5.321 t·hm^{-2})[14,23],其原因可能是天童地区靠近海洋,受台风干扰产生更多的凋落物.植物群落在遭受台风袭击时,可产生大量的非生理性枯枝落叶,如 1989 年波多黎各的飓风引起凋落物输入量高达 1 t·hm^{-2},台风期间日均凋落物量是正常情况下的 400 倍[29].Lin 对台湾福山亚热带常绿森林凋落物研究发现,强台风干扰能显著增加年凋落物量,且年凋落量与台风干扰的强度和频度呈显著正相关[15].在对天童两类常绿阔叶林凋落物的研究发现,受 2012 年 8 月初强台风"海葵"的影响,两种森林的年凋落量都在当年达到最大值,台风发生当月的凋落量占全年总量的 30%左右.

通常认为,物种组成不同是造成凋落物各组分比例差异的原因[14,25].天童地区两种常绿阔叶林凋落物中各组分所占比例顺序为:叶>枝>碎屑>花>果>树皮,这与大部分常绿阔叶林叶>枝>花果的顺序一致[8,28,30,31],但与鼎湖山常绿阔叶林叶>花果>枝的顺序不同[25].自然干扰(如冰雪灾害,台风等)也能改变凋落物各组分比例,在遭受雨雪冰冻灾害后,粤北天井山常绿森林凋落物中枝比例显著减少,叶比例显著增加[33];受台风"达维"影响,海南中部丘陵地区灌丛林及次生林凋落物中枝比例偏高,叶比例偏低[21].对比天童常绿阔叶林不同年份中的凋落物量及组成发现,台风影响年各组分凋落量显著高于无台风影响年,凋落物中枝比例为台风影响年高于无台风影响年,叶比例则呈相反结果.同亚热带内陆地区其他森林比较发现,在台风影响年,天童常绿阔叶林凋落物枝比例高于古田山常绿阔叶林(14.69%)和飒马场次生常绿阔叶林(8.02%),叶比例则低于古田山常绿阔叶林(79.0%)和飒马场次生常绿阔叶林(76.33%)[14,28].上述结果表明,虽然台风干扰能显著增加凋落物各组分量,但不同组分对台风干扰的敏感程度并不一致,其中枝凋落量受台风影响最为显著,使其年凋落量增加了 1.5 倍左右,这大大提升凋落物中枝的比例,并使叶比例有所下降,这说明台风干扰对枝凋落量的影响要远远高于叶凋落量.

4.2 台风对凋落量时间动态的影响

森林凋落量的时间动态主要受林分组成、森林类型和气候因子的影响,其季节动态模式多为单峰型、双峰型和不规则型[1].多数森林,特别是常绿森林,其月凋落物量季节动态模式是双峰型[8,14,25,28,30,31],而一些落叶阔叶林,其动态模式则是单峰型[33].在中亚热带地区,大部分常绿阔叶林拥有春季和秋末两个凋落高峰;夏季台风灾害高发地区如鼎湖山、台湾福山

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

和日本立田山等地的常绿阔叶林拥有春季和夏末两个凋落高峰[8,14-16,25,31]. 天童地区两种常绿阔叶林在台风影响年的凋落动态为三峰型，有春季、台风季和秋季三个凋落高峰，这不同于与其他地区常绿森林双峰型凋落模式.

不同地带和森林类型的凋落高峰的形成原因不同. 在热带西双版纳地区，干季和雨季对凋落节律有明显的影响，干季的干热气候导致植物大量落叶形成凋落高峰[27,34,35]；在温带长白山地区，其秋季凋落高峰的形成原因是落叶树种在生长季末期生物量达到最大，气温下降导致生理性落叶[34,35]. 对于中亚热带常绿阔叶来说，春季凋落高峰主要是由于气温回升、降雨增加，大部分常绿树种在此时集中换叶；秋末凋落高峰主要因为在雨季末期气温下降，叶片衰老和环境胁迫所造成的大量落叶[8,14,30]. 天童常绿阔叶林春季和秋末的凋落高峰符合中亚热带地区常绿阔叶林凋落节律，而在台风季节的凋落高峰主要是由于台风带来的强风、强降水过程造成的大量的“非正常凋落物”.

天童常绿阔叶林各组分的凋落动态各异. 不同的台风影响年下两种群落类型的叶凋落物模式有所区别. 2012 年受强台风“海葵”影响，栲树林和木荷林叶凋落模式为三峰型，而在之前的三个台风影响年，栲树林叶凋落动态为双峰型，而木荷林为三峰型. 这反映出台风干扰对不同群落类型叶凋落动态存在不同程度的影响. 在强台风干扰下，栲树林和木荷林的叶凋落动态表现出相同规律，但在轻度台风干扰下，两种群落类型则表现出了不同程度的响应，其可能原因是两种森林类型群落结构和物种组成的差异[37]. 栲树群落是亚热带东部低海拔的顶级群落类型，比木荷群落更加稳定，其抗干扰的能力也更强，此外不同物种的抗台风干扰能力有所差异，物种组成的差异也会造成不同群落抗台风干扰能力的差异. 枝凋落高峰主要由于强风天气、冰雪积压等外力引起非生理性脱落，其受外界环境因素干扰明显，台风引起的强风强降雨天气和冰雪灾害等都能造成大量枝条凋落形成凋落高峰[21,32].

森林凋落物不仅能够影响植被群落的形成，而且还参与土壤的形成，对涵养水源、保持水土、改良土壤结构和理化性质都有着重要的作用[38]. 本研究发现，台风干扰对天童两种常绿阔叶林凋落物量有着明显的影响，具体表现在显著增加了凋落物各组分的量，尤其是枝凋落量；改变了凋落物组成比例，增加枝凋落比例、降低叶凋落比例；改变了凋落动态，在台风季节，形成凋落高峰，且不同强度的台风干扰对不同森林群落的叶凋落动态的影响存在差异. 例如 2012 年强台风“海葵”能造成大量“非正常”凋落物，显著的改变群落外貌和生产力，影响森林生态系统的养分循环，凋落动态的改变可能对森林内动物的取食和种子的萌发及物种的更新产生影响. 本研究为进一步研究亚热带常绿阔叶林凋落物特征对台风干扰的响应提供了一些基础资料，另外关于台风对不同群落类型、不同物种凋落物量影响的差异，能够影响不同植物群落凋落物量的最低台风强度等还需要进一步的研究.

致谢　感谢阎恩荣教授、天童国家站王波老师在前期实验设计和凋落物收集工作中给与的帮助；也感谢华东师范大学研究生陈静静、赵辰莹和赵青青在实验过程中的帮助.

[参　考　文　献]

[1] 王凤友. 森林凋落量研究综述[J]. 生态学进展，1989，6(2)：82-89.

[2] BRAY J R，GORHAM E. Litter production in forests of the world[J]. Advances in Ecological Research，1964，2：101-157.

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[3] 林波,刘庆,吴彦,等. 森林凋落物研究进展[J]. 生态学杂志,2004,23(1):60-64.

[4] 吴承祯,洪伟,姜志林,等. 我国森林凋落物研究进展[J]. 江西农业大学学报,2000,22(3):405-410.

[5] LIU C J,WESTMAN C J,BERG B,et al. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broadleaf forests in Eurasia[J]. Global Ecology and Biogeography,2004,13(2):105-114.

[6] 凌华,陈光水,陈志勤. 中国森林凋落量的影响因素[J]. 亚热带资源与环境学报,2009,4(4):66-71.

[7] 阎恩荣,王希华,周武. 天童常绿阔叶林不同退化群落的凋落物特征及与土壤养分动态的关系[J]. 植物生态学报,2008,32(1):1-12.

[8] 俞国松,王世杰,容丽,等. 茂兰喀斯特森林主要演替群落的凋落物[J]. 动态植物生态学报,2011,35(10):1019-1028.

[9] 张德强,叶万辉,余清发,等. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究[J]. 生态学报,2000,20(6):938-944.

[10] 张庆费,宋永昌,吴化前,等. 浙江天童常绿阔叶林演替过程凋落物数量及分解动态[J]. 植物生态学报,1999,23(3):250-255.

[11] 郭淑红,薛立. 冰雪灾害对森林的影响[J]. 生态学报,2012,32(16):5242-5253.

[12] 刘斌,潘澜,薛立. 台风对森林的影响[J]. 生态学报,2012,32(5):1596-1605.

[13] 吴仲民,李意德,周光益,等. "非正常凋落物"及其生态学意义[J]. 林业科学,2008,44(11):28-31.

[14] 张磊,王晓荷,米湘成,等. 古田山常绿阔叶林凋落量时间动态及冰雪灾害的影响[J]. 生物多样性,2011,19(2):206-214.

[15] LIN K C,HAMBURG S P,TANG S,et al. Typhoon effects on litterfall in a subtropical forest[J]. Canadian Journal of Forest Research,2003,33(11):2184-2192.

[16] SATO T. Litterfall dynamics after a typhoon disturbance in a *Castanopsis cuspidata* coppice southwestern Japan [J]. Annals of Forest Science,2004,61(5):431-438.

[17] XU X N,HIRATA E,SHIBATA H. Effect of typhoon disturbance on fine litterfall and related nutrient input in a subtropical forest on Okinawa Island. , Japan[J]. Basic and Applied Ecology,2004,5(3):271-282.

[18] GUZMANGRAJALES S M,WALKER L R. Differential seedling responses to litter after Hurricane Hugo in the Luquillo Experimental Forest, Puerto-Rico[J]. Biotropica,1991,23(4):407-413.

[19] WHIGHAM D F,OLMASTED L,CANO E C,et al. The impact of hurricane gilbert on trees, litterfall, and woody debris in a dry tropical forest in the Northeastern Yucatan Peninsula[J]. Biotropica,1991,23(4):434-441.

[20] 许涵,李意德,骆土寿,等. 达维台风对海南尖峰岭热带山地雨林群落的影响[J]. 植物生态学报,2008,32(6):1323-1334.

[21] 王敏英,刘强,高静. 海南岛中部丘陵地区受台风侵袭影响的4种植物群落凋落物动态[J]. 海南师范学院学报:自然科学版,2007,20(2):156-160.

[22] 宋永昌,王祥荣. 浙江天童国家森林公园的植被与区系[M]. 上海:上海科学技术文献出版社,1995.

[23] 杨庆松,马遵平,谢玉彬,等. 浙江天童20ha常绿阔叶林动态监测样地的群落特征[J]. 生物多样性,2011,19(2):215-223.

[24] 张新平,王襄平,朱彪,等. 我国东北主要森林类型的凋落物产量及其影响因素[J]. 植物生态学报,2008,32(5):1031-1040.

[25] 宫丽莉,周国逸,张德强,等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物量20年动态研究[J]. 植物生态学报,2004,28(4):449-456.

[26] 吴仲民,卢俊培,杜志鹃. 海南岛尖峰岭热带山地雨林及其更新群落的凋落物量与贮量[J]. 植物生态学报,1994,18(4):306-313.

[27] 任永红,曹敏,唐建维,等. 西双版纳季节雨林与橡胶多层林凋落物动态的比较研究[J]. 植物生态学报,1999,23(5):418-425.

[28] 刘曦,段昌群. 枫马场次生半湿润常绿阔叶林凋落物特征初步研究[J]. 云南环境科学,2004,23(S2):53-56.

[29] LODGE D J,SCATENA F N,ASBURY C E,et al. Fine litterfall and related nutrient inputs resulting from Hurri-

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

cane Hugo in Subtropical Wet and Lower Montane Rain-Forests of Puerto-Rico[J]. Biotropica，1991，23(4)：336-342.

[30] 林益明，何建源，杨志伟，等. 武夷山甜槠群落凋落物的产量及其动态[J]. 厦门大学学报：自然科学版，1999，38(2)：128-134.

[31] 于明坚，陈启瑞，李铭红，等. 浙江建德青冈常绿阔叶林凋落量研究[J]. 植物生态学报，1996，20(2)：144-150.

[32] 徐雅雯，朱丽蓉，吴可可，等. 雨雪冰冻灾害后粤北森林各林型凋落物动态[J]. 生态环境学报，2011，20(10)：1443-1448.

[33] 刘颖，韩士杰，林鹿. 长白山四种森林类型凋落物动态特征[J]. 生态学杂志，2009，28(1)：7-11.

[34] WIEDER R K，WRIGHT S J. Tropical forest litter dynamics and dry season irrigation on Barro Colorado Island，Panama[J]. Ecology，1995，76(6)：1971-1979.

[35] 郑征，刘伦辉，和爱军，等. 西双版纳湿性季节雨林凋落物和叶虫食量研究[J]. 植物学报，1990，32(7)：551-557.

[36] 原作强，李步航，白雪娇，等. 长白山阔叶红松林凋落物组成及其季节动态[J]. 应用生态学报，2010，21(9)：2171-2178.

[37] 仝川，杨玉盛. 飓风和台风对沿海地区森林生态系统的影响[J]. 生态学报，2007，27(12)：5337-5344.

[38] 魏晶，吴刚，邓红兵. 长白山高山冻原生态系统凋落物养分归还功能[J]. 生态学报，2004，24(10)：2211-2216.

(上接第 78 页)

[8] WILLIGERS J，WEE B V. High-speed rail and office location choices，A stated choice experiment for the Netherlands[J]. Journal of Transport Geography 2011，19(4)：745-754.

[9] 罗鹏飞，徐逸伦，张楠楠. 高速铁路对区域可达性的影响研究：以沪宁地区为例[J]. 经济地理，2004，24(3)：407-411.

[10] 张楠楠，徐逸伦，高速铁路对沿线区域发展的影响研究[J]. 地域研究与开发，2005，24(3)：32-36.

[11] 苏文俊，施海涛，王新军. 京沪高铁对鲁西南沿线主要城市的影响[J]. 复旦学报(自然科学版)2009 48(1)：111-116.

[12] 蒋海兵，徐建刚，祁毅. 京沪高铁对区域中心城市陆路可达性影响[J]. 地理学报，2010，65(10)：1287-1298.

[13] 孟德友，陆玉麒. 高速铁路对河南沿线城市可达性及经济联系的影响[J]. 地理科学，2011，31(5)：537-543.

[14] 王姣娥，丁金学. 高速铁路对中国城市空间结构的影响研究[J]. 国际城市规划，2011，26(6)：49-54.

[15] LUTTER H，PUTZ T，SPANGENBERG M. Accessibility and Peripherality of Community Regions：the role of road long distance railway and airport networks[M]. Commission of the European Communities，Brussels，1992.

[16] LÓPEZ E. Measuring regional cohesion effects of large-scale transport infrastructure investment：an accessibility approach[J]. European Planning Studies，2008，16 (2)：277-301.

[17] LEVINSON D. Accessibility impacts of high-speed rail[J]. Journal of Transport Geography，2012，22(5)：288-291.

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net