台风暴雨对沿海森林水文过程与养分迁移的影响

彭舜磊^{1,2}, 王艳红¹, 由文辉², 刘沛松¹, 文祯中¹

(1.平顶山学院低山丘陵区生态修复重点实验室,河南 平顶山 467000;2.华东师范大学环境科学系,上海 200062)

摘要:综述了台风暴雨极端气候对沿海森林生态系统林冠降雨再分配、地表径流等水文过程以及森林生态系统物质循环和水化学特征的影响。台风暴雨增加了森林集水区的径流,是沿海森林生态系统 P、K 等元素流失的重要原因,而且使溪水的水化学特征发生显著变化。

关键词:台风;暴雨;沿海森林;水文过程;养分迁移

中图分类号:P444;F426.62;S718.5

文献标识码:A

文章编号:0439-8114(2012)19-4181-03

Effects of Typhoon Storm on Hydrological Process and Nutrient Transportation of Coastal Forest

PENG Shun-lei^{1,2}, WANG Yan-hong¹, YOU Wen-hui², LIU Pei-song¹, WEN Zhen-zhong¹

(1.Key Laboratory of Ecological Restoration in Hilly Areas, Pingdingshan University, Pingdingshan 467000, Henan, China;

2.Department of Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: The effects of typhoon storms in the coastal forest ecosystem hydrology process including canopy interception and runoff, material recycling, and water chemistry characteristics were reviewed. The results indicated that typhoon storms increased runoff in the forest catchments, led to lack of P or K, and significantly change the chemistry characteristics of stream water in the coastal forest ecosystem.

Key words: typhoon; storm; coastal forest; hydrological process; nutrient transportation

在全球气候变化的背景下,台风暴雨活动强度呈上升趋势,危害愈来愈严重^[1,2]。中国是世界上遭受台风影响最严重的国家之一,台风活动的影响范围主要集中在沿海地区^[3]。2005年,浙江省相继遭受“海棠”、“麦莎”、“泰利”和“卡努”4大台风的侵袭,短时间总雨量高达400 mm以上,台风雨量为40年一遇,造成的直接经济损失达252.5亿元。台风暴雨已成为制约中国沿海地区社会和经济发展的重大自然灾害^[4]。沿海地区是中国森林资源的主要分布区,台风暴雨对沿海森林生态系统生态学过程影响十分严重^[5],尤其是对水文过程与养分迁移的影响更为突出^[6,7]。开展台风暴雨对沿海森林生态系统水文过程与养分迁移研究,可以揭示中国沿海森林生态系统水文循环与养分迁移过程对台风暴雨的响应机制,为东

部沿海地区滞洪减灾、植被恢复、生态安全及重大灾害预警体系建设提供科学依据。

1 台风暴雨对森林水文过程的影响

1.1 台风暴雨对森林生态系统冠层降雨再分配的影响

台风暴雨通过对冠层的干扰和强降雨,影响森林降雨再分配过程,增加了穿透雨量^[8]。Cheng等^[9]的研究表明,在中国台湾水源林区,台风暴雨来袭时冠层截留为5%~20%,平均为11.6%,而一般降雨时,冠层截留可以达到50%,说明台风带来的是强度大、雨量多的暴雨,而森林的林冠层截留能力是有限的,当雨量超过其最大容量时,林冠截留降雨的能力就逐渐减弱,且截留率变小,另外,台风暴雨造成的林冠受损和叶面积减少也会降低林冠截留

收稿日期:2011-11-25

基金项目:国家林业公益性行业科研专项(201004044);高等学校博士学科点专项基金项目(20090076110021)

作者简介:彭舜磊(1974-),男,河南上蔡人,讲师,主要从事生态水文学研究,(电话)18637576639(电子信箱)Pengshunlei@163.com;

通讯作者:文祯中,教授,硕士生导师,主要从事生态学研究,(电子信箱)wzz168@sina.com.cn。

量。Xu等^[10]在日本冲绳岛亚热带常绿阔叶林的研究表明,台风暴雨在该区域森林水文起着主导作用,穿透雨和树干径流各占全年降雨量的53.9%和30.9%,冠层截留量为15.2%。周光益等^[6]通过1989–1993年4个水文年的水文资料统计分析表明,以树干径流形式流入树干根际周围土壤中的水分,49.3%是由台风暴雨产生的。树干径流对林地不但不产生侵蚀,而且树干径流水携带大量养分流入根际土壤,促进了养分的吸收与利用。

1.2 台风暴雨对森林生态系统径流的影响

周光益等^[6]对海南尖峰岭热带森林的研究表明,台风对研究区域森林集水区径流的增加起着重要作用,特别是台风引起的快速径流年平均255.7 mm,占年总快速径流量的75%,总径流系数为0.32,水文响应值为23.2%,瞬时最大洪峰流量为135 m³/s。陈步峰等^[11]在海南尖峰岭的研究表明,山地雨林生态系统对特大暴雨具有延缓暴雨的产流作用。山地雨林系统对该地区3次特大暴雨的水文响应依次为32.7%、35.2%和62.5%;系统对雨季第一次大暴雨产流量的延缓、蓄贮效应尤为显著,随着雨季山地雨林雨量的增多、降雨产流率增大,该系统的这种效益逐渐减小。Cheng等^[9]的研究表明,中国台湾林区土壤渗透性好,年蒸发量高达800~1000 mm,只有当降雨强度超过250 mm/h时才会产生暴雨径流。很多学者针对森林集水区暴雨径流的产流机制进行了研究。Elsenbeer等^[12]研究了亚马逊河集水区暴雨径流的产生与流动路径,结果表明老成土雨林中暴雨径流的产生与氧化土雨林明显不同,表面径流或亚表层径流的产生是由于降雨强度大于土壤饱和导水率。Noguchi等^[13]的研究表明,土壤大孔隙优先流对暴雨快速径流的产生起重要作用。Iroume等^[14]的研究发现,流域内不同的森林覆盖度对径流和洪峰的影响很大。Goller等^[15]通过对降雨、穿透雨、有机质土层土壤溶液、矿化层土壤溶液以及溪流的水样 $\delta^{18}O$ 测定,认为土壤中的侧向流对暴雨径流的产生起重要作用,并计算出3场暴雨新水对溪流贡献比例分别为81%、44%和78%。Zhang等^[16]通过水文过程中各水文分量的水化学特征研究,描述了各水文分量的路径,揭示了径流机理。

2 台风暴雨对森林生态系统养分迁移的影响

2.1 台风暴雨对森林生态系统物质循环的影响

Chambers等^[1]的研究表明,台风造成美国海湾地区大量树木死亡、损伤,增加了林下大量粗木质

残体(CWD)的积累,平均损失碳生物量 1.05×10^{11} kg,相对于美国森林每年同化碳量的50%~140%;Zeng等^[17]研究了1851–2000年台风暴雨对美国森林碳通量的影响,结果表明,台风暴雨致使美国每年平均碳释放 2.50×10^{13} kg;1980–1990年,美国CO₂的释放量相当于全国全部森林每年碳同化量的9%~18%,是1900年的2倍,原因是台风活动的加强和美国森林面积的扩大,台风暴雨对美国的碳平衡影响深远。Herbert等^[18]研究发现台风严重影响夏威夷森林养分的供应效率。Riley等^[19]的研究表明,台风增加了森林内氯化物的释放,对森林氮素循环有重要影响。Xu等^[20]的研究表明,台风干扰强烈影响日本冲绳岛亚热带森林每年凋落物和养分的输入量,台风驱动P、N的快速循环及P、N被土壤的高效利用是维持冲绳岛亚热带森林生产力的重要机制。周光益^[7]的研究表明,台风来袭期间,海南热带山地雨林内N、Mg、Ca和K的输入大于输出,P、Al、Si为输出大于输入,台风是热带地区缺P的主要原因。Mihara^[21]的研究表明,裸地土壤的N、P流失是由台风暴雨带来的土壤侵蚀造成的。Lin等^[22]在日本福山的研究发现,频繁的台风干扰造成的大量枯枝落叶是养分流失的主要原因,尤其是P流失量很大,P缺失成为该地区树木生长和冠层高度的限制因子;Xu等^[23]在日本冲绳岛通过对台风干扰后枯枝落叶分解过程中C:P和N:P的比例动态变化发现P流失量非常大,这一结论在中国海南岛热带雨林和美国夏威夷森林得到验证^[7,18];陈耀德等^[24]在中国台湾栖兰山区对扁柏森林生态系统的研究表明,台风干扰造成的非正常大量落叶,会使K从此生态系统大量流失。陈步峰等^[11]在海南尖峰岭热带山地雨林的研究表明,在台风特大暴雨年的水分循环中,山地雨林每年减少泥沙流失量6.01 t/hm²,保存养分241.5 kg/hm²,无台风特大暴雨年,年减少泥沙流失量0.43 t/hm²,保存养分17.3 kg/hm²,显示出热带雨林非常明显的水文功能。

2.2 台风暴雨对水化学动态的影响

Schaefer等^[25]通过对8个台风干扰后森林水源区溪水化学特性的研究表明,溪水中N、K、NH₄⁺浓度显著增加,并且保持到第二年,硫酸盐、氯化物、Na、Mg、Ca变化不显著;Lin等^[8]研究发现台风对穿透雨中的H⁺、NH₄⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻有很大影响;Xu等^[23]的研究表明,台风可导致林下穿透雨和树干径流中的总N、可溶性有机质(DOC)、K、Na、Ca、Mg浓度比一般降雨中的显著增加;Zhang等^[16]研究发现,在台风影响下,森林集水区基流中N、P和DOC浓度很低,但在地表径流中这些养分变动很大,其中氮颗粒、磷

颗粒是基流中的 4~50 倍,因为它们与悬浮沉积物有关,并且养分颗粒传输与林下坡面地表径流有关。地表径流中可溶性有机氮、 NO_3^- -N、DOC 和可溶性磷浓度是基流的 1~10 倍;Tsai 等^[26]在中国台湾莲花池森林集水区对油松人工林和常绿阔叶天然林对比研究表明,在台风暴雨来袭过程中,油松人工林与常绿阔叶林相比,溪水流量显著增加,离子数量和浓度波动很大;油松人工林溪水中固体颗粒悬浮物是常绿阔叶林溪水中的 2 倍多。说明天然植被常绿阔叶林转变为针叶人工林后,台风暴雨对其水化学循环产生了很大的影响。

综上所述,国外的研究主要集中在美国的夏威夷、加利福尼亚等海湾地区以及日本的冲绳岛、福山等地区。国内研究主要集中在台湾的莲花池和海南的尖峰岭。1998 年《生态学杂志》专门出版一辑台风对海南热带森林植被和水文影响的论文集,但此后该项研究在中国鲜有报道。今后应该加强台风暴雨极端气候条件下沿海森林生态系统水文过程、养分迁移时间动态和长期定位观测以及沿海森林生态系统抵御台风暴雨的机理研究。

参考文献:

- [1] CHAMBERS J Q, FISHER J I, ZENG H, et al. Hurricane Katrina's carbon footprint on Gulf Coast Forests [J]. *Science*, 1998, 281(5381): 1295-1296.
- [2] BENDER M A, KNUTSON T R, TULEYA R E, et al. Modeled impact of anthropogenic warming on the frequency of intense Atlantic hurricanes [J]. *Science*, 2010, 327(22): 454-458.
- [3] 杨华庭.我国沿海带可持续发展与减轻海洋灾害[J]. *海洋预报*, 1998, 15(3): 26-31.
- [4] 张继权,李 宁.主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2007.264-298.
- [5] 全 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.
- [6] 周光益,陈步峰,曾庆波,等.台风和强热带风暴对尖峰岭热带山地雨林生态系统的水文影响研究 [J]. *生态学报*, 1996, 16(5): 555-558.
- [7] 周光益.台风暴雨对热带林生态系统地球化学循环的影响[J]. *北京林业大学学报*, 1998, 20(6): 36-40.
- [8] LIN T C, HAMBURG S P, KING H B, et al. Throughfall patterns in a subtropical rain forest of northeastern Taiwan [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(4): 1186-1193.
- [9] CHENG J D, LIN L L, LU H S, et al. Influences of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan [J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, 165(1-3): 11-28.
- [10] XU X N, HIRATA E J. Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical forest: N and P dynamics [J]. *Plant and Soil*, 2005, 273(1-2): 279-289.
- [11] 陈步峰,林明献,周光益,等.尖峰岭热带山地雨林生态系统的水文生态效应[J]. *生态学报*, 2000, 20(3): 423-429.
- [12] ELSENBEEER H, VERTESSY R A. Stormflow generation and flowpath characteristics in an Amazonian rainforest catchments [J]. *Hydrological Processes*, 2000, 14(14): 2367-2381.
- [13] NOGUCHI S, TSUBOYAMA Y, SLIDLE R C, et al. Subsurface runoff characteristics from a forest hillslope soil profile including macrospores, Hitachi Ohta [J]. *Hydrological Processes*, 2001, 15(11): 2131-2149.
- [14] IROUME A, HUBER A, SCHULZ K. Summer flows in experimental catchments with different forest covers, Chile [J]. *Journal of Hydrology*, 2005, 300(1-4): 300-313.
- [15] GOLLER R, WILCKE W, LENG M J, et al. Tracing water paths through small catchments under a tropical montane rain forest in south Ecuador by an oxygen isotope approach [J]. *Journal of Hydrology*, 2005, 303(1-4): 67-80.
- [16] ZHANG Z, FUKUSHIMA T, ONDA Y, et al. Nutrient runoff from forested watersheds in central Japan during typhoon storms: Implications for understanding runoff mechanisms during storm events [J]. *Hydrological Processes*, 2007, 21(9): 1167-1178.
- [17] ZENG H C, CHAMBERS J Q, NEGRÓN-JUARÁEZ R I, et al. Impacts of tropical cyclones on U.S. forest tree mortality and carbon flux from 1851 to 2000 [J]. *PNAS*, 2009, 106(19): 7888-7892.
- [18] HERBERT D A, FOWNES J H. Hurricane damage to a Hawaiian Forest: Nutrient supply rate affects resistance and resilience [J]. *Ecology*, 1999, 80(3): 908-920.
- [19] RILEY R H, VITOUSEK P M. Hurricane effects on nitrogen trace gas emissions in Hawaiian montane rain forest [J]. *Biotropica*, 2000, 32(4): 751-756.
- [20] XU X N, HIRATA E J, SHIBATA H. Effect of typhoon disturbance on fine litterfall and related nutrient input in a subtropical forest on Okinawa Island, Japan [J]. *Basic Applied Ecology*, 2004, 5(3): 271-282.
- [21] MIHARA M. Nitrogen and phosphorus losses due to soil erosion during a typhoon, Japan [J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2001, 78(2): 209-216.
- [22] LIN K C, HAMBURG S P, TANG S, et al. Typhoon effects on litterfall in a subtropical forest [J]. *Canadian Journal of Forest Research—revue Canadienne de Recherche Forestiere*, 2003, 33(11): 2184-2192.
- [23] XU X N, WANG Q, HIRATA E J. Precipitation partitioning and related nutrient fluxes in a subtropical forest in Okinawa, Japan [J]. *Annals of Forest Science*, 2005, 62(3): 245-252.
- [24] 陈耀德,叶青峯,刘美娟,等.台湾山地雾林带的水分与养分循环研究[J]. *资源科学*, 2006, 28(3): 171-177.
- [25] SCHAEFER D A, MCDOWELL W H, SCATENA F N, et al. Effects of hurricane disturbance on stream water concentrations and fluxes in eight tropical forest watersheds of the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico [J]. *Journal of Tropical Ecology*, 2000, 16: 189-207.
- [26] TSAI C J, LIN T C, HWONG J L, et al. Typhoon impacts on stream water chemistry in a plantation and an adjacent natural forest in central Taiwan [J]. *Journal of Hydrology*, 2009, 378(3-4): 290-298.

(责任编辑 昌炎新)