

魏 珈, 郭卫东, 王志恒, 等. 降雨事件对不同流域背景河流 DOM 组成及入海通量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(4): 737–744.

WEI Jia, GUO Wei-dong, WANG Zhi-heng, et al. Impacts of storm event on DOM composition and flux in two Jiulong Tributaries with different watershed features[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(4): 737–744.

降雨事件对不同流域背景河流 DOM 组成及入海通量的影响

魏 珈, 郭卫东*, 王志恒, 徐 静, 陈能汪, 洪华生

(厦门大学滨海湿地生态系统教育部重点实验室, 福建省海陆界面生态环境重点实验室(厦门大学), 厦门 361005)

摘 要:通过调查 2014 年 7 月“麦德姆”台风影响期间福建九龙江北溪(流域以林地为主)和西溪(农业流域和城市背景)下游定点站 DOM 的时间序列,测定样品的 DOC 含量及其吸收光谱和三维荧光光谱,以评估不同流域背景对河流 DOM 动力学降雨响应的差异性,并为流域-河口系统的一体化管理提供重要参考。降雨期间,两条河流 DOC 浓度、吸收系数 $a_{CDOM}(350)$ 以及总荧光强度均随径流量升高而增大,并在水位下降期持续增加,且西溪增加量明显高于北溪,说明受人类活动扰动大的流域河流有机质对暴雨事件的响应更为灵敏;北溪和西溪的 $SUVA_{254}$ 分别显示出增大和减小的相反变化趋势,表明林地背景的流域主要冲刷芳香度高的 DOM 到河流,农业和城市背景则相反;降雨期西溪对九龙江 DOM 入海通量的贡献率高于北溪,与基流期北溪贡献率占主导恰巧相反,这种碳通量的逆转表明暴雨事件会放大人类活动对下游河口生态环境的影响。

关键词:暴雨事件;流域背景;溶解有机质;吸收光谱;三维荧光光谱;碳通量

中图分类号:X522 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2016)04-0737-08 doi:10.11654/jaes.2016.04.018

Impacts of storm event on DOM composition and flux in two Jiulong Tributaries with different watershed features

WEI Jia, GUO Wei-dong*, WANG Zhi-heng, XU Jing, CHEN Neng-wang, HONG Hua-sheng

(Key Laboratory of the Ministry of Education for Coastal and Wetland Ecosystems, Fujian Provincial Key Laboratory for Coastal Ecology and Environmental Studies, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Watershed features have great impacts on river DOM composition and flux. In this study, temporal variations in DOM of the North (dominated by forestland) and West (dominated by farmland and urban area) Jiulong River were investigated during the typhoon “Matmo” in July, 2014. The DOM was characterized by DOC, absorption spectroscopy, and fluorescence excitation emission matrix spectroscopy (EEMs) analysis. The DOC concentration, absorption coefficient $a_{CDOM}(350)$ and total DOM fluorescence intensity of both rivers increased significantly in both rising and falling hydrograph during the storm event. However, DOM abundance in the West River showed a much greater increase than that in the North River, suggesting more sensitivity of river DOM to rainstorm events in the watershed with greater anthropogenic perturbation. The specific absorption coefficient ($SUVA_{254}$) of CDOM showed different variation trends between the North and West River, indicating that river DOM in forest-dominant watershed had high aromaticity and average molecular weight. The West River showed higher fluxes of DOM than the North River during storm event, which was opposite to that under the base flow condition. This reversion in DOM export flux suggested that storm event could amplify the influence of human activities in the watershed on the receiving estuarine ecosystems. The present findings are of great significance for the integrated management of coupled river-estuary system.

Keywords: storm event; watershed features; DOM; absorption spectroscopy; fluorescence excitation emission matrix spectroscopy; carbon flux

收稿日期:2015-11-15

基金项目:国家自然科学基金项目(41276064, U1305231)

作者简介:魏 珈(1990—),女,天津人,硕士研究生,从事生物地球化学过程研究。E-mail:jiawei19901212@qq.com

*通信作者:郭卫东 E-mail:wdguo@xmu.edu.cn

溶解有机物(DOM)广泛存在于河流、海洋、雨水等自然水体,涵盖了从可识别的简单有机物质(如氨基酸、糖类和低分子量有机酸等)到各种结构复杂的高分子量聚合物(蛋白质、木质素、腐殖质、黑碳等)。河流作为连接海洋和陆地这两个最重要碳库的纽带,是陆源物质向海洋输送的主要途径,也是全球碳循环的重要环节之一。研究河流 DOM 的来源和变化不仅有助于探究河流生态系统的碳循环过程,而且有助于了解和阐明陆源有机物入海后的生态环境效应。

河流 DOM 的组成及其输送通量主要受控于流域的土地利用类型、水文过程及河流内部有机质的改造与转化作用^[1]。人类活动对流域自然过程的过度干扰,致使流域内土地利用方式发生了明显的转变,如森林植被破坏、农业耕种方式改变、城市化、修筑水库大坝等,直接影响着河流有机质的释放和迁移转化过程^[2-3],改变了从流域输出的土壤有机质以及其他营养物质的通量和化学组成。另一方面,在全球气候变化影响下流域水循环过程也发生着深刻的变化。近年来多频次台风暴雨事件的发生,不仅使流域内陆源物质的浓度和通量在短时间内呈现脉冲式增加^[4-5],而且改变了河流 DOM 的化学组成及其生物可利用性^[6],间接影响着有机污染物、重金属、消毒副产物等污染物质的存在形态、含量及其生物毒性^[7-9],从而产生一系列环境效应。此外,降雨事件对 DOM 动力学过程的影响,还与降雨前流域的潮湿状况以及降雨强度有关^[10]。由此可见,流域的土地利用方式及其水循环过程对河流中碳等生源要素的输送会产生紧密耦合的耦合效应^[11-12],但关于上述两类因素对河流有机碳输送的耦合影响研究鲜见报道^[13]。

九龙江是福建省第二大入海河流,主要由北溪和西溪两大支流构成。北溪除上游外,主要以林地为主,西溪则由于近年来城市化进程加快,城镇建设用地、农业用地比例明显增加^[14],这两条支流具有明显不同的土地利用方式。此外,九龙江流域位于亚热带地区,夏秋季节台风暴雨事件频发,是研究流域背景-暴雨事件耦合作用对河流有机质组成及通量影响的理想场所。2014年7月23日,台风“麦德姆”登陆福建东部沿海,直接影响到九龙江流域。因此,本文利用 DOC、有色溶解有机物(CDOM)吸收光谱以及三维荧光光谱分析技术,研究了该次事件影响期间九龙江西溪和北溪 DOM 的动力学变化特征,以期揭示降雨事件影响下陆源有机质向近海生态系统的传递响应机制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

九龙江流域地处福建省经济发展迅速的东南沿海,流域面积 14 741 km²,平均径流量为 149 亿 m³,流域降雨量季节变化较为显著。北溪支流发源于龙岩梅花山一带,流域面积 9803 km²,多年平均流量(浦南水文站)281.4 m³·s⁻¹,年平均径流量 82.30 亿 m³。西溪支流发源于南靖和平和县西部板寮岭一带,流域面积 3946 km²,多年平均流量(郑店水文站)117 m³·s⁻¹,年平均径流量 36.8 亿 m³。北溪和西溪汇合于流域下游漳州平原,至浮宫又有南溪汇入,经厦门港入海(图 1)。

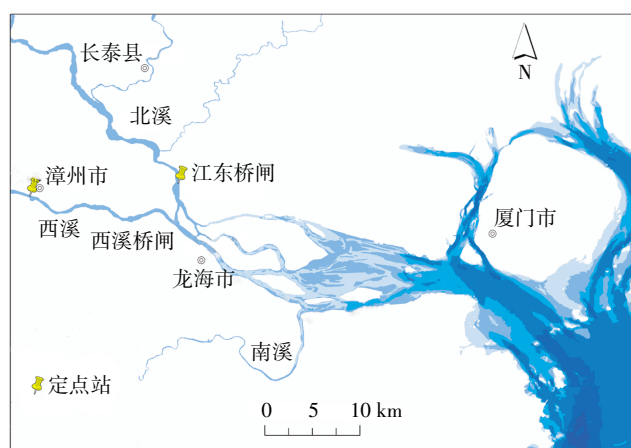


图 1 九龙江流域定点采样站位图

Figure 1 Map of sampling stations in Jiulong River

1.2 样品采集与预处理

在九龙江北溪和西溪下游各设置一个定点站(图 1),采样时间分别为 2014 年 7 月 23 日 15:00 至 7 月 25 日 13:00 和 2014 年 7 月 23 日 16:00 至 7 月 25 日 14:00,每间隔 2 h 利用自动采水器采集表层水样。此外,在降雨前一天,即 2014 年 7 月 22 日 18:00,分别在两定点站采集表层水样作为基流期参考值。

水样带回实验室后,立即用预先灼烧过的 GF/F 滤膜过滤,收集 30 mL 滤液于棕色玻璃瓶中,置于 4 ℃条件下冷藏,用于吸收光谱和荧光光谱测定。另收集 25 mL 滤液用于 DOC 分析测试,加磷酸调节 pH<2,冷冻-20 ℃保存待测。

1.3 DOC 和 CDOM 分析

DOC 浓度采用日本岛津 TOC-VCPH analyzer 进行测定,吸收光谱采用 UV-Vis 8000 分光光度计(上

海,元析)测定。吸收系数 $a_{\text{CDOM}}(350)$ 表示 CDOM 的相对含量,以 275~295 nm 波长范围计算光谱斜率 $S_{275-295}$ (nm^{-1}),表示 DOM 的相对平均分子量^[15]。CDOM 在 254 nm 波长下的吸光度与其 DOC 含量的比值 $\text{SUVA}_{254}(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$ 可用于表征 DOM 的芳香度^[16]。

1.4 三维荧光光谱分析

三维荧光光谱采用 Cary Eclipse 荧光光谱仪(瓦里安,澳大利亚),激发波长(E_x)范围为 220~450 nm,发射波长(E_m)范围为 280~600 nm。为避免内过滤效应干扰,高吸光度样品需要将 350 nm 处的吸光度 A_{350} 稀释至 <0.05 再进行荧光光谱测定。利用平行因子分析法对三维荧光光谱进行解谱,可以识别具有不同特征 E_x/E_m 波长的荧光组分^[1,7]。本研究共识别出 4 个荧光组分(图 2),C1(250,315/416 nm)、C2(250,365/488 nm)和 C3(260,360/428 nm)分别代表 3 个类腐殖质组分,C4(280/332 nm)代表类蛋白质组分。

2 结果与分析

2.1 水文状况特征

受台风“麦德姆”事件影响,北溪流域降雨过程发生在 7 月 23 日 16:00 至 7 月 25 日 2:00(图 3a),平均降雨量为 (81.7 ± 20.1) mm。基流期的径流量仅为

$229 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,略低于该水文站多年平均径流水平。降雨期间,径流量出现两次高峰,分别达到 435 、 $650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,且洪峰径流量滞后于最大雨量 24 h,表明地表径流需要一定的缓冲时间从陆地流入并输送至流域下游采样站位。观测结束时径流量尚未完全恢复基流期水平。

西溪流域的平均降雨量明显高于北溪,约为 (119.1 ± 23.9) mm(图 3b)。基流期径流量为 $112.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,与该流域多年平均径流量水平保持一致。降雨期间西溪径流量增加趋势与北溪稍有不同,仅存在单一洪峰,径流量达 $579 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,略低于北溪的洪峰值,但增加幅度达 4.1 倍,远高于北溪。

2.2 两条支流 DOC 浓度及 CDOM 吸收的时间变化

受降雨影响,北溪 DOC 从基流期的 $0.97 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 缓慢增加并达到最大值 $1.24 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (图 4a),滞后于峰值径流 4 h。推测这种滞后效应可能与树干茎流的滞后时间有关,或者是由于上层土壤有机质需要一定的时间透过大孔隙迁移进入流域当中^[1,8]。 $a_{\text{CDOM}}(350)$ 变化趋势与 DOC 类似,于观测结束时达到最大值 5.5 m^{-1} ,与基流期相比增加了 45.6%。 SUVA_{254} 数值的波动性比较大,但仍略有增加。

西溪 DOM 的时间变化趋势则与北溪存在明显

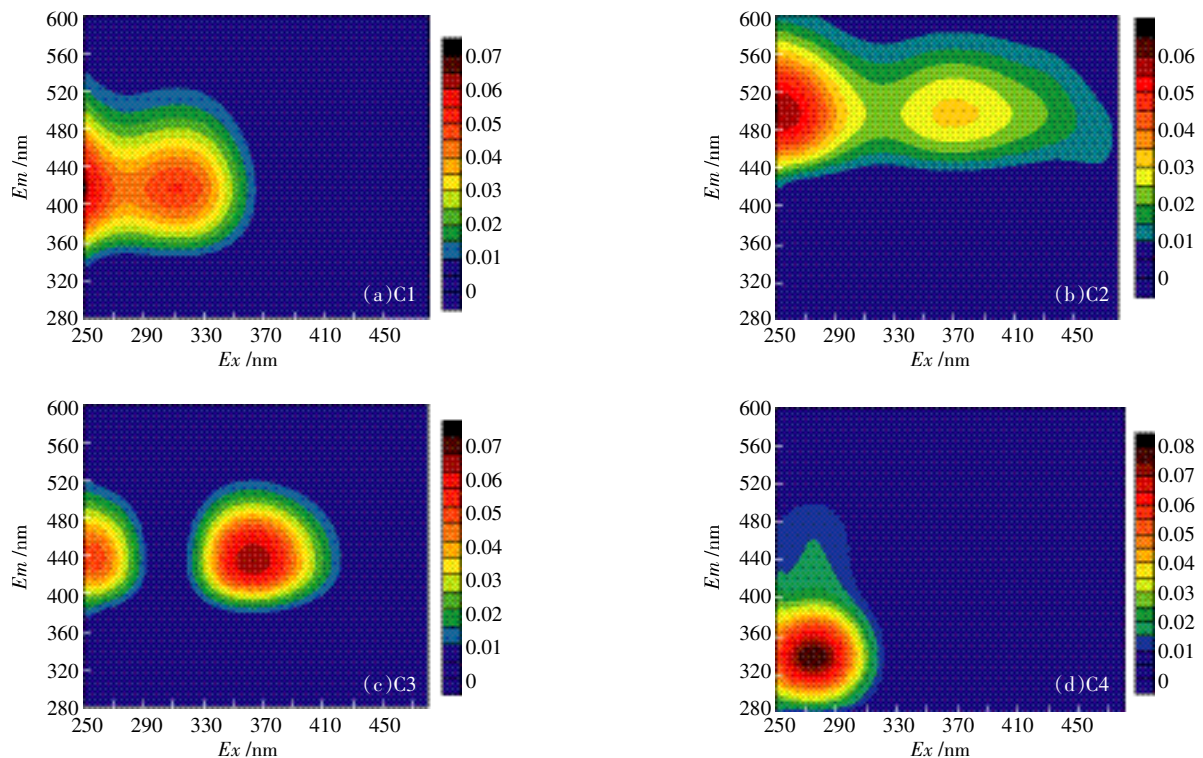


图 2 PARAFAC 荧光组分图

Figure 2 Fluorescence components identified by PARAFAC model

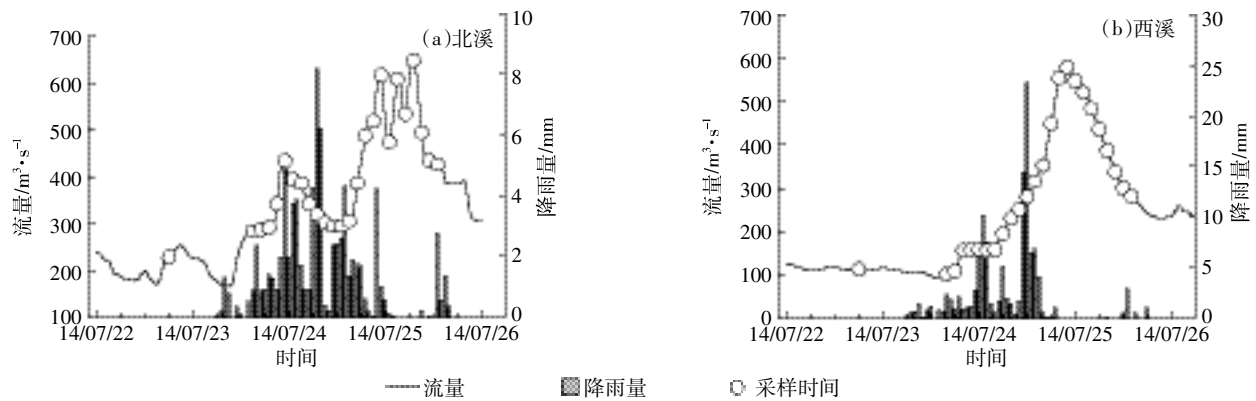


图3 九龙江北溪浦南水文站和西溪郑店水文站径流量、各自四个县市平均降雨量的变化趋势以及定点站采样时间点
Figure 3 Temporal changes in water discharge at Punan and Zhengdian gauges, mean precipitation at four locations in North and West Jiulong River, and sampling time at sampling stations during storm event in July 2014

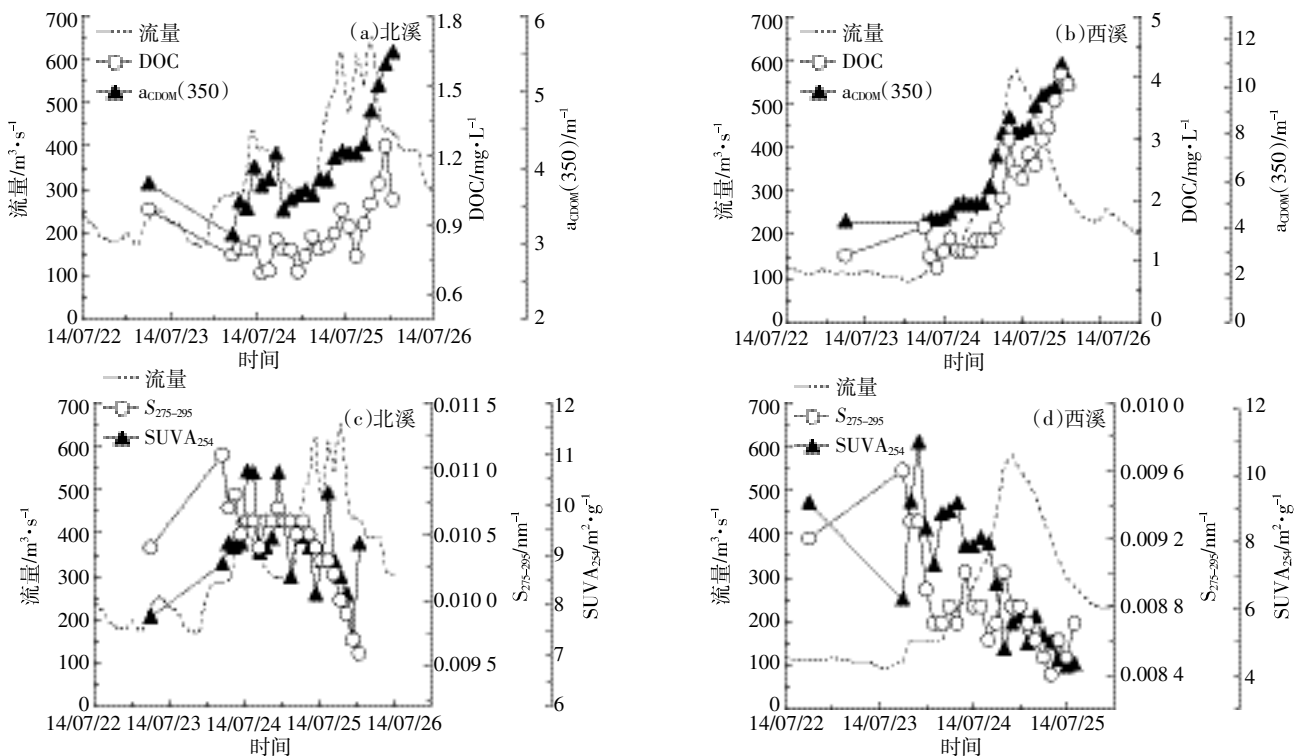


图4 九龙江北溪和西溪 DOC 浓度、 $a_{CDOM}(350)$ 丰度、 $S_{275-295}$ 以及 $SUVA_{254}$ 的变化趋势

Figure 4 Variations in DOC concentration, $a_{CDOM}(350)$ abundance, spectral slope ($S_{275-295}$) and $SUVA_{254}$ of North and West Jiulong River

不同。DOC 在观测期间前 22 h 内一直保持在较低的稳定水平,平均含量与北溪峰值径流浓度相当,随后 DOC 快速增加至最大值 $4.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,滞后于峰值径流 14 h。 $a_{CDOM}(350)$ 的变化趋势与 DOC 一致 ($R^2=0.91$, $n=24$, $P<0.001$),其峰值 11.0 m^{-1} 明显高于北溪(图 4b)。 $SUVA_{254}$ 的时间变化与北溪恰巧相反,降低趋势明显(图 4d)。

两个站位 CDOM 光谱斜率 $S_{275-295}$ 值在观测期间

均呈现出逐渐降低的趋势,并且西溪 $S_{275-295}$ 值始终低于北溪,反映出不同流域背景下 DOM 组成上的差异(图 4c,图 4d)。

2.3 两条支流 CDOM 荧光的时间变化

降雨期间,九龙江两条支流的荧光物质以 C1 组分为主,而其余 3 个组分荧光强度则相对较低且丰度相近(图 5)。C1 组分的荧光强度高于其他 3 个荧光组分 2.6~3.3 倍。北溪流域荧光组分强度在径流量达

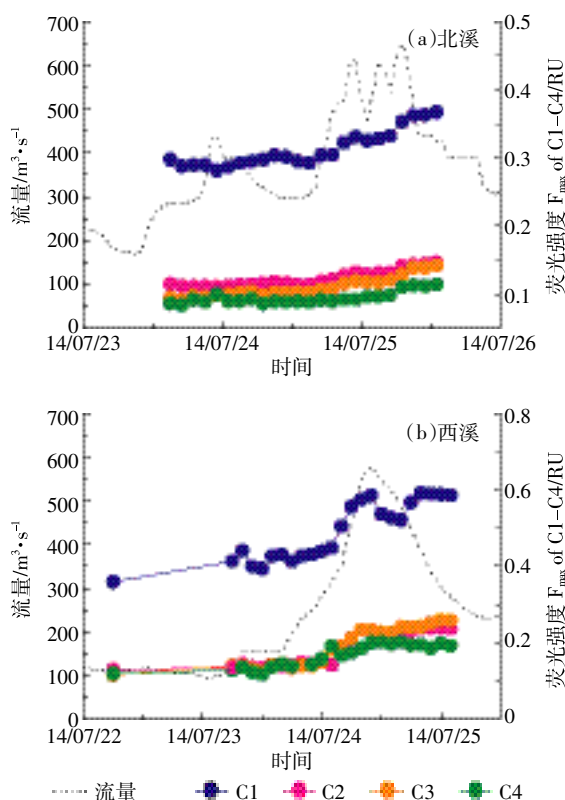


图5 九龙江北溪和西溪荧光组分 C1-C4 的变化

Figure 5 Temporal changes in fluorescence components C1-C4 for North and West Jiulong River

第一次高峰前无明显增加趋势(图 5a),此后,伴随径流量急剧上升,4 个组分荧光强度也开始缓慢增加,增加比率在 23.4%~49.4%范围内。西溪流域荧光物质的降雨响应变化则稍有不同(图 5b),4 个组分的荧光强度与径流量同时达到各自最大值,并在水位下降期保持相对稳定的高丰度值。比较而言,西溪流域 4 个荧光组分强度始终高于北溪,而且增加比率也更高,达到 62.9%~102.3%。

3 讨论

3.1 土地利用-降雨事件耦合作用对两条支流 DOM 组成的差异性影响

降雨期间九龙江两条支流 DOC 浓度均表现出明显的增加趋势,但由于能够提供 DOM 化学组成信息的光谱参数如 $S_{275-295}$ 和 $SUVA_{254}$ 等变化趋势不同,反映出降雨冲刷至两条支流的 DOM 的来源以及流动路径可能存在一定的差别。

九龙江北溪除上游龙岩地区外,沿程主要以林地为主,受人类活动干扰作用小。降雨期间北溪下游 $SUVA_{254}$ 的增加和 $S_{275-295}$ 的减小趋势,表明大量高芳

香度的大分子 DOM 被冲刷入河流。Yang 等^[19]研究 2011 年夏季降雨事件对九龙江北溪 DOM 的影响时,也观测到上述光谱参数具有相同的变化趋势,并且认为表面径流对河岸带(包括湿地、居住区和农田)陆源植物淋溶和土壤有机质的冲刷效率最快,以此来解释降雨过程中 DOM 化学组成上的改变。Kang 等^[20]研究发现在以林地为主的流域内,丰水期内的降雨过程会冲刷季节性饱和的河岸带或湿地中的 DOM 进入河流,使径流 DOM 浓度及其芳香度、分子量增加。因此,对以林地为主的九龙江北溪流域,降雨过程主要是将表层土壤和植物淋溶液中的天然高芳香度 DOM 降解产物冲刷进入河流并输送至下游区域。

九龙江西溪沿程途经平和县、南靖县、漳州市和龙海市,不仅人口密集、城市用地比例大,而且农业用地(如耕地、水田、果园)比例相对较高,特别是西溪下游为 100%农业用地,是工农业集约化程度较高的区域,推测为暴雨径流 DOM 提供了可能的来源。与北溪相比,西溪定点站 DOM 的光谱斜率 $S_{275-295}$ 和 $SUVA_{254}$ 同步降低,表明降雨期间相对低芳香度的活泼大分子 DOM 被冲刷进入西溪流域。低芳香度的 C1 类富里酸荧光组分,主要来源于微生物现场活动,含量始终高于其余 3 个组分,并且在西溪这种趋势更加突出。Williams 等^[3]在研究土地利用方式和微生物活动对流域 DOM 形成机制的影响过程中,发现在人类活动影响显著的流域,土壤、河水及水底生物带中细菌生产力会增强,并且由于林地面积的减少,还会使穿透到河水中的太阳辐射强度增加,并导致 DOM 分子更容易发生光化学降解作用,因而 DOM 的分子量会减小。与北溪更为天然的土地利用背景相比,在西溪流域,人类活动对土地利用类型的显著改造会使该流域内异养微生物活动水平增强,进而导致西溪河水中还原性、低芳香度 DOM 信号的增强。短时间尺度的降雨事件,无疑放大了这种“改造”效应,两种因素的耦合影响,不仅会导致河流内部碳循环过程的改变,还会传导影响输送至河口及近岸海域 DOM 的数量以及化学组成。

3.2 土地利用-降雨事件耦合作用对两条支流 DOM 入海通量的影响

由于此次降雨事件的量级有限,北溪 DOC 浓度的增加幅度较小,但随着径流量的迅速增加,DOC 通量仍从基流期的 $0.22 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ 增至 $0.64 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$,增加了约 1.9 倍(图 6a),与荧光物质通量的增加幅度接近(图 6a,图 6c)。事件期间北溪 CDOM 含量的增加幅

度更为显著,CDOM 入海通量的增加比例略高于 DOC 和荧光物质,从基流期的 $868 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 增加至洪峰期的 $3081 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,约为 2.5 倍(图 6b)。西溪沿程降雨强度大并且时间短促,使得流域内径流量和 DOM 物质通量变化剧烈。西溪 DOC 通量从基流期的 $0.12 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ 增至洪峰期的 $1.42 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$, 增加比例高达 10.6 倍(图 6d),CDOM 和 FDOM 入海通量变化也分别增加了 8.6 倍和 7.9 倍(图 6e、图 6f)。在基流期,虽然北

溪 DOM 物质丰度低于西溪 10.6%~17.9%, 但径流量高于西溪 1 倍,因而北溪对入海径流量、各物质通量百分比贡献率高达 64.3%~67.0%,显示出其主导地位(图 7a)。由于降雨强度的差异,显然西溪支流对水文过程的响应更加明显,导致西溪 DOM 入海通量高于北溪 33.7%~54.5%(图 7b)。与基流期相比,西溪流域径流量和物质通量百分比贡献率分别增加了 14.1% 和 24.4%~33.2%, 对 DOM 入海通量起主导贡献作用

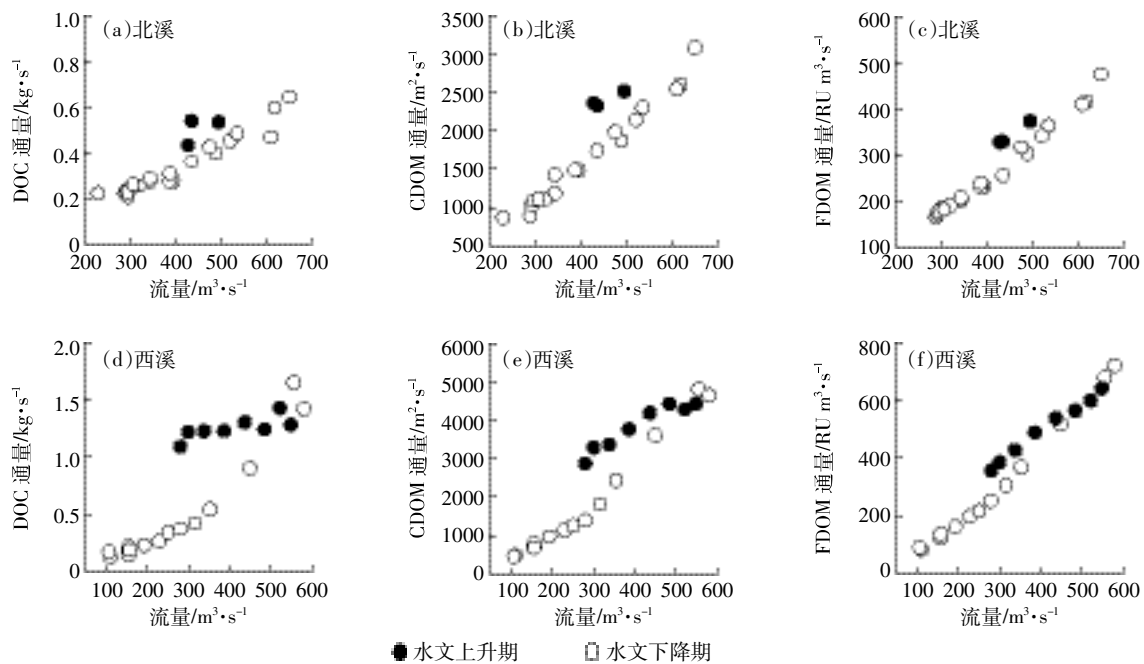


图 6 2014 年 7 月九龙江北溪和西溪分别在水文增长期和天文下降期 DOC 通量、CDOM 通量以及总荧光强度通量的时间变化
Figure 6 Temporal changes in DOC flux, CDOM flux, and total fluorescence intensity flux of North and West Jiulong River during hydrograph rising limb and falling limb in July, 2014

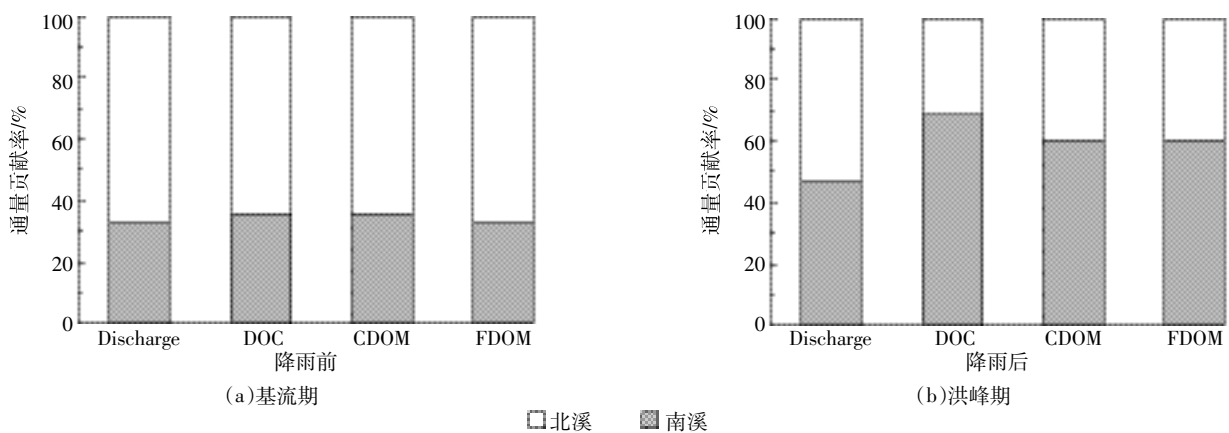


图 7 2014 年 7 月暴雨期间九龙江北溪和西溪在基流期和洪峰期径流量、DOC 通量、CDOM 通量以及 FDOM 通量的百分比贡献率变化

Figure 7 Changes in contribution percentages of discharge, DOC flux, CDOM flux and FDOM flux between North and West Jiulong River at baseflow and peak flow during the storm event in July 2014

(图7b), 显示出降雨事件对九龙江流域-河口耦合系统产生的 DOM 碳通量逆转效应。

在给定径流量水平下, 水文下降期的 DOC 和 CDOM 通量高于水文上升期(图 6a、图 6b、图 6d、图 6e), 由此构成一个“逆时针”的径流量-通量滞后曲线图, 西溪尤为显著, 主要因为水文下降期该支流 DOC 和 CDOM 含量仍持续增加。Yang 等^[19]在九龙江北溪同样观测到相似的 DOM“逆时针”滞回曲线, 表明在水文下降期河流 DOM 的变化以冲刷效应为主。但是, Buffam 等^[6]在美国东部的一个小森林流域却观测到 DOC 和 DON 的“顺时针”滞回曲线, 其原因是降雨期间 DOM 主要来自溪流内部或近河岸带区域, 反映出降雨后期河流 DOM 的动力学以稀释效应为主。McGlynn 等^[21]在研究新西兰南岛西海岸斜坡湿地 DOM 输出动力学时, 也观测到 DOC 和 DON 存在类似的“顺时针”滞回曲线。他们认为, 在降雨前期, 由于河岸带径流比例较大而其之上的斜坡径流比例小, DOM 浓度快速增加; 而在降雨后期, 则以低浓度 DOM 的斜坡径流贡献为主, 因而河岸带和斜坡来源贡献的相对时差是河流 DOM 浓度和通量变化的一阶控制因素。

综上所述, 虽然伴随暴雨径流 DOM 浓度及其通量都会增加, 但在水文下降期不同研究区域 DOM 的来源以及动力学机制存在一定的差异, 进一步证明降雨事件对流域 DOM 的影响究竟是以稀释效应为主还是以冲刷效应为主需要考虑多方面的因素, 包括降雨量级、降雨范围、土壤类型、土地利用方式、地形地貌特征等。九龙江流域下游河道平缓, 推测在水文下降期可能仍然以河岸带近表层有机土壤层的冲刷为主, 导致其“逆时针”径流量-通量滞后曲线的形成。

4 结论

2014年7月“麦德姆”台风引起的降雨事件使九龙江北溪和西溪两条支流的 DOM 含量和通量均显著增加, 其中受人类活动影响较大的西溪其 DOM 动力学对暴雨事件的响应更加剧烈, 导致降雨期间西溪对九龙江 DOM 入海通量的贡献高于北溪。这与基流期河流入海通量以北溪占主导正好相反, 表明流域内土地利用类型以及人类活动强度等方面的差异对 DOM 入海通量的降雨响应具有重要影响。

参考文献:

[1] Kothawala D N, Ji X, Laudon H, et al. The relative influence of land

cover, hydrology, and in-stream processing on the composition of dissolved organic matter in boreal streams[J]. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2015, 120(8): 1491-1505.

[2] Aitkenhead-Peterson J A, Steele M K, Nahar K, et al. Dissolved organic carbon and nitrogen in urban and rural watersheds of south-central Texas: Land use and land management influences[J]. *Biogeochemistry*, 2009, 96(1): 119-129.

[3] Williams C J, Yamashita Y, Wilson H F, et al. Unraveling the role of land use and microbial activity in shaping dissolved organic matter characteristics in stream ecosystems[J]. *Limnology and Oceanography*, 2010, 55(3): 1159-1171.

[4] Creed I F, Sanford S E, Beall F D, et al. Cryptic wetlands: integrating hidden wetlands in regression models of the export of dissolved organic carbon from forested landscapes[J]. *Hydrological Processes*, 2003, 17(18): 3629-3648.

[5] Inamdar S P, Christopher S F, Mitchell M J. Export for dissolved organic carbon and nitrate during storm events in a glaciated forested catchment in New York, USA[J]. *Hydrological Processes*, 2004, 18(14): 2651-2661.

[6] Buffam I, Galloway J N, Blum L K, et al. A stormflow/baseflow comparison of dissolved organic matter concentrations and bioavailability in an Appalachian stream[J]. *Biogeochemistry*, 2001, 53(3): 269-306.

[7] Dittman J A, Shanley J, Driscoll C T, et al. Mercury dynamics in relation to dissolved organic carbon concentration and quality during high flow events in three Northeastern U. S. streams[J]. *Water Resources Research*, 2010, 46(7), doi: 10.1029/2009WR008351.

[8] Lu Y H, Bauer J E, Canuel E A, et al. Photochemical and microbial alteration of dissolved organic matter in temperate headwater streams as associated with different land use[J]. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2013, 118(2): 566-580.

[9] Nguyen H V, Lee M H, Hur J, et al. Variations in spectroscopic characteristics and disinfection byproduct formation potentials of dissolved organic matter for two contrasting storm events[J]. *Journal of Hydrology*, 2013, 481: 132-142.

[10] Inamdar S P, O'Leary N, Mitchell M J, et al. The impact of storm events on solute exports from a glaciated forested watershed in western New York, USA[J]. *Hydrological Processes*, 2006, 20(16): 3423-3439.

[11] Huang J C, Lee T Y, Kao S J, et al. Land use effect and hydrological control on nitrate yield in subtropical mountainous watersheds[J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2012, 16(3): 699-714.

[12] Lee T Y, Huang J C, Kao S J, et al. Temporal variation of nitrate and phosphate transport in headwater catchments: The hydrological controls and land use alteration[J]. *Biogeosciences*, 2013, 10(4): 2617-2632.

[13] Miller M P. The influence of reservoirs, climate, land use and hydrologic conditions on loads and chemical quality of dissolved organic carbon in the Colorado River[J]. *Water Resources Research*, 2012, 48(12): 1-15.

[14] 黄金良, 张祯宇, 邵建敏, 等. 九龙江径流 Flashiness 指数时空变化分析[J]. 水文, 2014, 34(3): 37-42.

HUANG Jin-liang, ZHANG Zhen-yu, SHAO Jian-min, et al. Analysis of spatiotemporal variability of runoff Flashiness index for Jiulong River

- [J]. *Journal of China Hydrology*, 2014, 34(3):37-42.
- [15] Helms J R, Stubbins A, Ritchie J D, et al. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photo-bleaching of chromophoric dissolved organic matter[J]. *Limnology and Oceanography*, 2008, 53(3):955-969.
- [16] Weishaar J L, Aiken G R, Bergamaschi B A, et al. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon[J]. *Environmental Science Technology*, 2003, 37(20):4702-4708.
- [17] Stedmon C A, Markager S, Bro R. Tracing dissolved organic matter in aquatic environments using a new approach to fluorescence spectroscopy[J]. *Marine Chemistry*, 2003, 82(3/4):239-254.
- [18] Nguyen H V, Hur J, Shin H S. Changes in spectroscopic and molecular weight characteristics of dissolved organic matter in a river during a storm event[J]. *Water Air Soil Pollution*, 2010, 212(1):395-406.
- [19] Yang L Y, Guo W D, Chen N W, et al. Influence of a summer storm event on the flux and composition of dissolved organic matter in a subtropical river, China[J]. *Applied Geochemistry*, 2013, 28:164-171.
- [20] Kang P G, Mitchell M J. Bioavailability and size-fraction of dissolved organic carbon, nitrogen, and sulfur at the Arbutus Lake watershed, Adirondack Mountains, NY[J]. *Biogeochemistry*, 2013, 115(1):213-234.
- [21] McGlynn B L, McDonnell J J. Role of discrete landscape units in controlling catchment dissolved organic carbon dynamics[J]. *Water Resources Research*, 2003, 39(4):1090.



活性炭吸附技术及其在环境工程中的应用

郭坤敏 等 编著

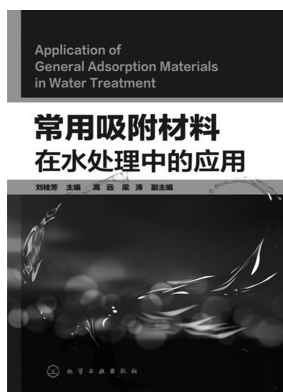
本书系统地论述了活性炭及其吸附技术有关的理论、工程问题以及在环境工程等领域的实际应用。主要内容包括:活性炭及新产品制备和基础性质;活性炭表面结构、化学性质和表面改性以及活性炭多孔结构测试技术;吸附理论及进展;气体吸附系统固定床模拟和设计;分子模拟(计算机模拟);活性炭在环境工程中的应用。

※书号:9787122254801

※定 价:98.0 元

※开本:16

※出版日期:2016 年 2 月



常用吸附材料在水处理中的应用

刘桂芳 主编

本书主要分三篇介绍了吸附现象及水处理常用吸附材料、吸附原理、材料性质表征等内容。本书从学术研究和实际应用角度,对水处理过程中的常用吸附材料和新兴吸附材料展开论述,主要介绍材料的性质、制备、应用、再生等方面知识,并就这些材料常用的性质表征方法和原理分析方法进行归纳总结,这可为水处理研究工作者和环保工作者提供行之有效的材料选择、分析研究、生产应用等方面的知识。

※书号:9787122256256

※定 价:59.00 元

※开本:16

※出版日期:2016 年 2 月

如需更多图书信息,请登录 www.cip.com.cn

服务电话:010-64518888,64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店:<http://hxgycbs.tmall.com>

邮购地址:(100011)北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

如要出版新著,请与编辑联系,联系电话:010-64519525。