文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4740 /（中图刊号）：715GL012

极端降雨事件触发的环境 DNA 短期脉冲效应分析

胡桂泽
大连海洋大学
DOI:10.12238/eep.v8i8.2782

[摘　要] 极端降雨事件在全球气候变化的背景下日益频繁,带来的水文变化对流域生态系统产生重要影响。文章通过环境DNA技术,探讨了极端降雨事件对水体生态系统的短期脉冲效应。研究发现,降雨引发的水流增大和泥沙扰动导致水体DNA浓度的显著波动,表现出明显的短期脉冲效应。降雨事件影响了水生物种的栖息地和丰度,物种多样性和群落结构出现短期变化,随后随着水体条件的恢复,物种逐步恢复。环境DNA作为高效、非侵入性的监测工具,能够实时反映极端降雨对生态系统的影响。研究结果为流域生态学研究提供了新的视角,也为气候变化适应性和生态保护提供了数据支持。
[关键词] 环境DNA；极端降雨；脉冲效应；物种多样性；流域生态学
中图分类号：X171.5　文献标识码：A

Analysis of Short-Term Pulse Effects of Environmental DNA Triggered by Extreme Rainfall Events

Guize Hu
Dalian Ocean University

[Abstract] In the context of global climate change, extreme rainfall events are becoming increasingly frequent, leading to significant hydrological changes that impact watershed ecosystems. This study employs environmental DNA (eDNA) technology to investigate the short-term pulse effects of extreme rainfall events on aquatic ecosystems. The findings reveal that increased water flow and sediment disturbance triggered by rainfall cause notable fluctuations in aquatic DNA concentrations, demonstrating a distinct short-term pulse effect. The rainfall events affect the habitats and abundance of aquatic species, resulting in temporary shifts in species diversity and community structure. Subsequently, as water conditions recover, species gradually rebound. As an efficient and non-invasive monitoring tool, eDNA can provide real-time insights into the impacts of extreme rainfall on ecosystems. The research findings offer a novel perspective for watershed ecology studies and provide data support for climate change adaptation and ecological conservation.
[Key words] environmental DNA; extreme rainfall; pulse effect; species diversity; watershed ecology

引言

伴随着城市的发展,极端天气的发生对城市的影响也在逐渐增加,对流域生态系统带来很大的影响[1]。降雨引发的水流波动、泥沙扰动和水体污染都会使生态系统的变化非常剧烈,从而影响水生生物的种群结构和栖息地。环境DNA(eDNA)技术通过对水体中微小DNA片段的分析,可以高效、非侵入式地反映水体中生物种类及丰度,给水体生态监测提供了一种新的方法。

eDNA(环境DNA)是指生物体通过皮肤、分泌物、卵、血液等途径释放到环境中的游离DNA片段,广泛存在于水体、土壤、空气等介质中。该技术通过采集环境样本并提取DNA,结合PCR扩增、高通量测序等分子生物学方法,分析目标物种分布及生物多样性信息,具有灵敏度高、非侵入性等优势,广泛应用于生物多样性调查、濒危物种追踪及生态监测[2]。

本文主要研究极端降雨事件对环境DNA的短期脉冲效应、环境DNA对生物多样性的影响以及环境DNA与环境变化程度和气候模式变化的关系,并对环境DNA技术在极端气候下应用的可行性进行探讨,最终为流域生态学提供新的视角,推动环境DNA技术用于气候变化适应性研究。

1 极端降雨事件的生态脉冲效应

1.1极端降雨引发的水文变化

极端降雨事件一般会伴随着剧烈的水文变化,明显影响流域生态系统[3]。降雨引起的水流量突然增大,水流速度加快,改变水体流动的方向、速度,进而影响水体物理特性,比如温度、浑浊度、pH值等。水流加快使水生植物和小型无脊椎动物的栖息地受到干扰,造成栖息地被破坏和物种暂时的迁徙。

降雨会增加水体中泥沙含量,水流把上游的泥沙和有机物

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

带往下游,导致水质浑浊,改变栖息环境,对物种的生存、繁殖造成影响。

1.2降雨引起水体DNA浓度的短期波动

降雨引起的水文变化会直接影响水体中DNA的浓度,水流加快和泥沙扰动可以促使沉积物、微生物的DNA释放出来,使环境DNA浓度出现波动。波动一般呈短期脉冲效应,降雨强度越大、持续时间越长,DNA浓度波动幅度越大越长。

降雨初期水流带动DNA颗粒,DNA浓度急剧升高;降雨后水流减小,DNA浓度很快降低,最后又恢复正常。

1.3环境DNA浓度的季节性与短期脉冲效应

降雨的脉冲效应具有季节性的差异。雨季的时候,极端降雨频繁,水体DNA浓度会发生多次剧烈的变化;旱季的时候,降雨稀少,DNA浓度变化平稳,脉冲效应影响小。

季节性波动更加凸显了环境DNA作为生态监测工具的优势,在极端气候事件发生的时候,环境DNA浓度的短期波动可以给生态学家提供即时的生态变化信息。

1.4极端降雨对生物群落的作用

极端降雨对水体的物理、化学条件产生影响,还会使生物群落结构发生变化[4]。水流速度加快以及水质改变都会使水生植物、浮游生物等栖息地发生改变,部分物种会消失或者迁移。降雨带来的污染物和营养物质会影响水生物种的生长和繁殖。

环境DNA浓度变化反映生物群落波动。降雨事件之后物种分布和群落结构会发生短期的重组,一些物种可能会暂时消失,在新的栖息地重新出现,群落组成也会随之改变。

2 环境DNA短期脉冲效应对物种多样性与群落结构的影响

2.1物种多样性的短期变化

极端降雨事件对水体生态系统短期影响最直接反映在物种多样性上,由降雨引起的水文条件变化、泥沙扰动、水质剧烈波动等都会对水生生物的栖息地、生长环境造成明显的影响[5]。水流速度增加、泥沙沉积、营养物质流入都会暂时破坏物种的栖息环境。

环境DNA技术可以有效地捕捉这些变化,通过对水体中的DNA浓度和物种标记进行分析,实现对物种短期波动的实时监测。研究表明,在极端降雨后水体物种多样性一般会在短期内下降。降雨之后水流变化和栖息地扰动可能会使一些物种消失或者迁徙,耐受性较强的物种会暂时占优势。雨停之后水流趋于平缓,物种开始逐渐恢复,多样性开始回升。

极端降雨对物种多样性的影响往往是暂时的,变化的速度和幅度与降雨强度、持续时间、流域生态特征有关。通过环境DNA监测可以显示物种多样性变化的规律,也能了解降雨引发的短期生态效应。

2.2物种丰度的波动

降雨事件对物种多样性造成影响,还会导致物种丰度出现剧烈波动。降雨之后水流急剧变化会带走大量物种的DNA,尤其是栖息在水流缓慢或者浅水区的物种,短时间内会消失。与此同时,降雨所带来的污染物和营养物质进入水体之后,使一些耐污染、适应性强的物种短期内丰度激增。

通过环境DNA浓度的变化可以监测到降雨事件之后物种丰度的变化,比如,某些水生植物或者浮游生物DNA浓度可能会迅速下降,但是其他物种DNA浓度就会升高。随着水体的恢复稳定,受降雨影响小的物种可能会回归,适应性强的物种会保持较高的丰度。

物种丰度的波动不仅是降雨对生态系统直接冲击的结果,也揭示了物种在变化环境中的适应性差异。环境DNA是监测该过程的有效手段,有助于科学家了解降雨造成物种丰度变动的状况。

2.3群落结构的重组与恢复

极端降雨事件对物种多样性及丰度有影响,也会导致水体生物群落结构发生改变[6]。降雨后的短时间内的脉冲效应会使群落结构产生剧烈波动。随着水流加快,物种栖息地发生变化,群落中物种的分布及相互关系也随之重组。部分水生物种可能会迁移到其他栖息地,改变群落组成。

环境DNA技术可以很好地捕捉这些变化,揭示群落结构的动态变化。降雨后某些物种丰度明显增加,另外一些物种丰度会降低。随着雨水的停止,群落逐渐恢复,物种间的关系以及群落结构趋于稳定。

利用环境DNA分析,科学家可以了解到降雨事件中物种群落的变化情况,辨识出适应性强的物种以及受脉冲效应影响大的物种。这给认识降雨造成的生态变化提供了重要的线索。

2.4极端降雨后生态恢复与群落稳定性研究

尽管极端降雨事件会对物种多样性以及群落结构产生短期的干扰,但是生态系统一般具有一定的恢复力。降雨停止后,水体中的物种和群落结构一般会慢慢恢复,流域生态系统比较稳定时更明显。物种恢复期受降雨量、雨历时、水体生态特性所影响。

环境DNA在这过程中的应用可以提供实时数据支持,通过水体中DNA浓度变化情况的持续监测,研究者可以跟踪物种恢复的过程和群落结构的恢复速度。水流恢复之后,被影响的物种逐渐回归,群落稳定性慢慢恢复。通过数据可以研究者知道受干扰物种什么时候恢复栖息地,群落逐渐建立起因为侵扰所破坏的生态系统。

3 降雨事件后生态系统的恢复与稳定性

3.1物种恢复过程

极端降雨事件对水体生态系统的影响往往是短期的,水流恢复平稳,环境条件改善之后,水生生物种群、群落也会逐渐恢复。物种恢复的速度和程度会受降雨的强度、持续时间、流域生态系统的稳定程度以及物种的适应性等因素影响。

降雨事件之后首先出现的是栖息地的恢复。随着水流的减缓,沉积物慢慢沉降,水体浑浊度降低,水质慢慢恢复到正常水平。在这种情况下,一些耐污染的物种会最先恢复,对水流、沉积物和水质的变化比较敏感的物种恢复时间会较长。环境DNA

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

能够监测物种恢复的动态,通过对DNA浓度进行监测,科学家能够发现哪些物种先恢复,以及物种恢复的时机。

物种的恢复还受物种间相互作用的影响,降雨事件之后生态系统中物种间的竞争和捕食关系会发生短期变化,影响物种的恢复进程。用环境DNA实时监测物种丰度及群落组成,可进一步了解物种恢复过程中各个物种之间的相互作用及其影响对恢复速度的影响。

3.2群落结构的恢复与稳定性

极端降雨带来的脉冲效应会造成群落结构的重组,降雨事件之后水体物种组成发生变化,某些物种丰度上升,而其他物种丰度降低。随着时间的推移,物种之间的相互作用逐渐恢复平衡,群落结构也会逐渐恢复正常。

环境DNA实时监测,可以帮助我们追踪群落结构恢复的过程。从多个点的DNA样本里可以判断出物种相对丰度的变化,并分析群落恢复的速度与稳定性。耐污染的或者适应性强的物种在降雨之后会很快占据优势,而一些原来的优势物种则要很长时间才能恢复。环境DNA可以准确捕捉到这些变化,为生态系统的恢复过程提供准确的数据。

群落结构恢复除了物种恢复外,还需要生态系统服务功能恢复的程度,例如水体的自净能力、植物的光合作用、微生物分解功能等,需要一定时间才能恢复到降雨前的水平。因此群落结构恢复的速度和稳定性在一定程度上反映整个生态系统的恢复能力。

3.3环境DNA在恢复过程中的监测价值

极端降雨事件之后,环境DNA在生态恢复过程的监测上显示出其独特的优势,传统的生物监测方法大多依靠周期性的采样与物种观察,但这样的生物监测存在时效性差、侵入性大的不足。而环境DNA可以实时、非侵入式地反映水体生态系统的状态,在物种多样性、群落结构和生态恢复方面明显优于传统方法。

环境DNA可以通过高频次采样来探测降雨之后生态系统动态变化。如降雨之后通过环境DNA检测物种恢复时机、丰度变化和物种间相互关系,给生态恢复提供实时反馈。通过将环境DNA与传统监测方法结合起来,可以获取更为全面的、精确的生态系统恢复信息,为生态修复和管理决策提供数据支持。

3.4生态恢复力与长期监测

极端降雨事件对生态系统的恢复具有重要意义。不同生态系统有不同的恢复能力,有的生态系统可以很快地恢复平衡,有的生态系统则要很长时间才能恢复。水生生态系统中的恢复力较强的物种群落能迅速适应降雨之后的环境变化,恢复物种的栖息地以及生态功能。而一些脆弱的物种和生态功能恢复需要的时间会更长。

长期监测是评价生态恢复力的关键。通过长期的环境DNA监测可以跟踪降雨事件之后生态系统恢复的过程,评价不同物种的恢复情况以及群落结构的稳定性。这些数据可以给以后生态恢复与管理提供科学依据,有利于决策者制定出更加精确的恢复策略。

4 结语

本文主要研究了极端降雨事件对流域生态系统产生短期的脉冲效应,其中着重分析了降雨对环境DNA浓度以及物种多样性造成的影响。研究结果表明,极端降雨改变了水体的水文条件和水质,进而显著地影响水体的环境DNA浓度。环境DNA是一种高效、非侵入式的监测手段,可以实时反映物种群落变化的情况,还可以揭示降雨对生态系统所造成的短期冲击。

尽管降雨对物种多样性以及群落结构造成的影响是暂时的,研究发现这样的脉冲效应可以为流域生态系统的恢复积累有用数据。环境DNA技术为应对极端气候事件以及气候变化引起的生态问题提供了一种新的途径。

[参考文献]

[1]李畅.基于应对极端降雨事件的绿色规划策略分析[J].科技和产业,2024,24(07):262-266.

[2]陈融旭,韩冰,赵凌栋,等.极端降雨条件下濮阳市马颊河流域水灾害风险研究[J].水利水电技术(中英文),2022,53(06):34-43.

[3]王辰,张依章,唐常源,等.eDNA技术在水环境管理中的挑战与优化方向[J].生态毒理学报,2025,20(03):1-13.

[4]魏鸾葳,陈左司南,陈胜楠,等.降雨对河岸生态系统杨树树干液流及其环境控制的影响[J].水土保持学报,2023,37(4):284-293.

[5]梁润婷,高湘,孙一凡,等.应用环境DNA技术监测水体生态的研究进展[J].河北渔业,2025,(10):45-47.

[6]韩会庆,李建鸿,张娇艳,等.贵州省生态系统服务对极端降雨的时空响应[J].石河子大学学报(自然科学版),2021,39(02):204-211.

作者简介：

胡桂泽(2000--),男,汉族,山东临沂人,硕士,研究方向：水生态。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.