

三峡水库消落带湿地碳排放生态调控的科学思考*

袁兴中^{1,2}, 刘红¹, 王建修³, 王强^{1,2}, 肖红艳^{1,2}

(1. 重庆大学 资源及环境科学学院; 2. 重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400030; 3. 重庆市开县澎溪河湿地自然保护区管理局, 重庆 开县 405400)

摘要 消落带是流域景观内生物地球化学过程最为活跃的区域,是碳排放研究和控制的热点区域。三峡水库消落带在夏季出露期间正是植物生长旺季,植物通过光合作用吸收 CO₂ 发挥碳汇功能,同时湿地本身的生物地球化学过程要排放 CH₄。更重要的是,在冬季蓄水淹没期间,其生长季节积累下来的有机物质在水下厌氧分解,将排放 CH₄、CO₂ 和 N₂O。消落带湿地碳动态的最明显特征就是随着水位的季节性变动,碳吸收和碳排放表现出明显的节律性变化,其碳排放具有明显的多源性。大面积消落带植被所蓄积的碳及营养物质是非常宝贵的资源,如果能加以妥善利用,就可化害为利。消落带湿地碳排放生态调控必须遵循控源、增汇和可持续综合利用原则,探索多尺度、多角度和多源定量分析碳源、碳汇的评价指标体系,碳排放的控源-减源-增汇关键技术集成模式及生态友好型利用综合模式,具有重要科学价值和应用前景。

关键词 消落带; 新生湿地; 碳排放; 碳源; 碳汇; 生态利用; 三峡水库

中图分类号 X171.1; P342; O613.71; Q988

文献标识码 A

文章编号 1672-6693(2010)02-0023-03

消落带是指江河、湖泊、水库等水体季节性涨落使水陆衔接地带的土地被周期性淹没和出露而形成的干湿交替地带,是水、陆及其生态系统的交错过渡与衔接区域。由于相邻水、陆系统的物质和能量交流频繁,使其成为景观内生物地球化学过程最为活跃的区域。

由于防洪、清淤及航运等需求,三峡水库实行“蓄清排浑”的运行方式,即夏季低水位运行(145 m)而冬季高水位运行(175 m)。由此在库区两岸形成了与天然河流涨落季节相反、涨落幅度达30 m的水库消落带。其面积达348.9 km²,是中国面积最大的水库消落带。2006年三峡水库156 m蓄水后,已形成了典型的消落带新生湿地。湿地作为一个水陆相互作用形成的独特生态系统,一方面在陆地碳库中占有显著的份额;另一方面,又是排向大气中CH₄的最大碳源,全球排入大气中的CH₄有15%~22%来自于湿地^[1-2]。作为一种重要的生态系统类型,湿地在控制陆地生态系统碳循环中扮演着重要的角色。已有研究表明,河岸及湖岸消落带是流域景观内碳排放的热点区域^[3-4]。同样,大型水库消落带的碳排放不容忽视。夏季三峡水库消落带大面积的新生湿地在生长季节吸收碳、发挥碳汇功能的同时,其生物地球化学过程又将产生一定碳排放,而在冬季消落带被淹没植物体厌氧分解,又将产生大量碳排放。因此对三峡水库消落带湿地进行碳动态及碳排

放减缓对策研究有着重要理论和应用价值,也对其他大型水库碳排放应对策略具有重要参考作用。

1 消落带湿地碳动态及排放途径

1.1 消落带湿地的碳收支

“碳汇”与“碳源”是关于大气循环和全球气候变化过程的两个相对的概念,来源于《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)缔约国签订的《京都议定书》。碳源定义为向大气中释放CO₂的过程、活动或机制,碳汇定义为从大气中清除CO₂的过程、活动或机制^[5]。

湿地是巨大的CO₂汇和CH₄源,聚集了大量的有机碳(100 kg·m⁻²或者更多)^[6],占全球土壤碳库的1/3到1/2^[7-8],其碳平衡对气候变化表现出较高的敏感性^[9]和不确定性。

由于三峡水库消落带水位变动的反季节性,即夏季出露,冬季淹没,有别于其它很多水库,其碳动态尤其值得关注。一方面,作为典型的湿地,消落带在夏季出露期间,正是植物生长的旺盛季节,植被通过光合作用吸收CO₂,发挥了碳汇功能;但另一方面,湿地生物地球化学过程要排放CH₄。2008年6~10月,笔者选取三峡水库腹心区域的澎溪河支流白夹溪,进行了新生湿地CH₄排放研究,发现区域

* 收稿日期 2009-01-17

资助项目 国家科技支撑计划项目(No. 2006BAJ08B01);重庆市科委科技攻关项目(No. CSTC2009AB1079)

作者简介 袁兴中,男,教授,博士生导师,研究方向为环境生态学。

内4种典型消落带湿地植物群落,即灯心草(*Juncus amuricus*)群落、水烛(*Typha angustifolia*)群落、蘆草(*Scirpus triquetter*)群落及双穗雀稗(*Paspalum paspaoides*)群落,均产生明显的 CH_4 排放。不同的湿地植物群落 CH_4 排放具有差异。其中蘆草群落 CH_4 排放量最大($10.9 \sim 14.9 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$),而灯心草群落 CH_4 排放量最低($0.25 \sim 0.65 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)。水烛和双穗雀稗的 CH_4 排放量分别为 $0.64 \sim 1.1$ 、 $6.8 \sim 5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ [10]。更重要的是在冬季蓄水淹没期间,生长季节积累下来的有机物质在水下厌氧分解,将排放出 CH_4 、 CO_2 、 N_2O 等,形成大量碳排放。

1.2 消落带湿地碳动态特征及排放的多源性

三峡水库以小于 15° 的平缓消落带为主,面积达 204.59 km^2 ,占消落带总面积的66.79%。消落带湿地碳动态的最明显特征就是随着水位的季节性变动,碳吸收和碳排放表现出明显的节律性。夏季出露期间,大多数平缓的土质库岸消落带被生长的植被所覆盖[11]。植被在此期间吸收了大量 CO_2 并积累了总量可观的生物物质,如不及时收割,其在冬季蓄水期间又将产生大量的碳排放。

此外,消落带湿地碳排放具有明显的多源性,即包括内源和外源。内源是指消落带自身生长的植被、有机质分解所排放的碳;外源系指陆域集水区高地汇集到消落带的污染物质与生物物质、通过冲沟等汇集到消落带的枯枝落叶和凋落物等有机物质分解所排放的碳。碳排放的多源性,无疑增加了问题的复杂性和解决问题的困难性。

2 对消落带湿地碳排放的科学思考

对于任何水库来说,初期蓄水后碳的高排放可能是暂时的。新生湿地的 CH_4 排放可能与初期蓄水后湿地中的有机物质含量高、原来的熟土富含有机质有关,因而生物地化过程强烈,导致初期蓄水后有较高的排放。根据国际上对水库的研究,初期蓄水的较高排放可能会随着时间的推移逐渐减弱。事实上,三峡水库蓄水前有效的清库为减少初期碳的高排放做出了重要贡献。因此,需要重视三峡水库消落带湿地植被作为碳库在储存有机碳中的重要作用;另一方面,也要看到生长季节和冬季淹水期间的碳排放。同时,还须重视碳排放的多源性。

此外,作为景观中物质转换的重要动态中心,其它元素的输入和转化对碳排放动态也产生着重要影响。例如,消落带区域将是一个氮素的高输入区域,高氮素输入将促进植物生长。有研究表明,沼泽湿地氮素输入能提高生态系统总初级生产力和生物量,同时使得生态系统 CH_4 排放和总呼吸 CO_2 排放也增大;氮输入后生态系统 CO_2 净交换减小,氮输

入减弱了其作为碳“汇”的功能[12]。

关于消落带湿地碳源、碳汇功能的强弱、消长及其碳平衡的相关结论,还需要时间来加以证明;而且库区消落带新生湿地刚刚形成,不确定因素众多,各方面影响交织于此,需要进行长期的观察研究,才可能得出明确的结论。尽管如此,当前也应积极地对待这一问题,不仅要重视消落带夏、冬季碳排放,也应看到,如此大面积的消落带植被所蓄积的碳及营养物质是非常宝贵的资源,如能加以妥善利用,就能化害为利。在正视其潜在问题的同时更应看到其所带来的生态机遇。必须充分了解消落带的现实状况及演变趋势,消极对待无助于解决问题。要真正维持消落带生态系统健康并实现该区域可持续发展,须看到消落带植被所蓄积的碳及营养物质的资源价值,将碳排放的控制途径与生态经济结合起来,走生态友好型利用之路。研究开发要既达到控制碳源、增加碳汇,又达到经济利用的目的,同时还要兼顾景观效益。只有兼顾生态、经济、社会综合效益的模式,才是可持续、可复制和值得推广的。

3 消落带湿地碳排放的生态调控途径

消落带湿地碳排放生态调控应遵循控源、增汇、可持续综合利用等基本原则,可从如下几点着手。

从多尺度、多角度和多源对消落带湿地碳源、碳汇进行综合定量分析,科学判别其碳排放的关键区域、关键节点及源强大小;研究现状碳汇和潜在碳汇大小;进行碳源、碳汇平衡分析,了解碳排放问题的实质以及随着蓄水时间的推移碳排放的趋势变化。

基于碳源-碳汇综合分析,研究消落带湿地控源关键技术;研究针对内、外源的多源控制技术,重点研究拦截陆域高地集水区有机污染物质、生物物质、枯枝落叶及凋落物的消落带植被缓冲带构建技术。针对碳内源,重点研究减源、增汇关键技术;研究在冬季蓄水期前减少植物物质、在生长季节配置高效碳汇植物的关键技术以及针对减源、增汇功能的消落带适生植物筛选及栽培技术。

积极开展控源-减源-增汇关键技术集成研究,开发生态友好型利用的综合模式,其中包括基塘工程、林泽工程等,还要将这些模式与循环经济结合起来。

4 结语

三峡库区消落带湿地碳动态的最明显特征就是随着水位的季节性变动,碳吸收和碳排放表现出明显的节律性变化,其碳排放具有明显的多源性。但大面积的消落带植被所蓄积的碳及营养物质也是非常宝贵的资源,如能加以妥善利用,就能化害为利。本文基于现实,立足发展,探讨了三峡库区消落带控

制碳源、增加碳汇、综合利用的生态经济模式,也为国内外大型水库消落带湿地碳排放控制提供可持续模式范例。

参考文献:

- [1] Eswairan H ,Berg E V ,Reich P. Global soil carbon resources[M]//R Lal ,Kimble J ,Levine E ,et al. Soil and global change. USA :CRC Press ,1994 27-43.
- [2] Aselmann I ,Crutzen P J. Global distribution of natural freshwater wetlands and rice paddies ,their net primary productivity ,seasonality and possible methane emission[J]. Journal Atmosphere Chemistry ,1998 ,32 3257-3264.
- [3] Gilliam J W. Riparian wetlands and water quality[J]. Journal of environment quality ,1994 23 896-900.
- [4] Naiman R J ,Decamps H. the ecology of interfaces : riparian zones [J]. Annual Review of Ecology and Systematics , 1997 28 621-658.
- [5] 全川,曾从盛. 湿地生态系统碳循环过程及碳动态模型 [J]. 亚热带资源与环境学报 ,2006 ,(1) 85-92.
- [6] Svensson B H ,Rosswall T. In site methane production from arid peat in plant communities with different moisture regime in subarctic mire[J]. Okios ,1984 43 341-350.
- [7] Gorham E. Northern peatlands : role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming[J]. Ecological Application ,1991 ,1 :182-195.
- [8] Waddington J M ,Roulet N T. Carbon balance of a boreal patterned peatland[J]. Global Change Biol 2000 6 87-92.
- [9] Canadell J. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale[J]. Oecologia ,1996 ,108 349-356.
- [10] Chen H ,Wu Y Y ,Yuan X Z ,et al. Methane emissions from newly created marshes in the drawdown area of the three gorges reservoir[J]. Journal of Geophysical Research , 2009 ,114 1-7.
- [11] 王强,刘红,袁兴中,等. 三峡水库 156m 蓄水后澎溪河消落带植物群落格局及多样性 [J]. 重庆师范大学学报 (自然科学版) 2009 26(4) :48-54.
- [12] 张丽华,宋长春,王德宣. 氮输入对沼泽湿地碳平衡的影响 [J]. 环境科学 2006 27(7) :1257-1263.

Resources , Environment and Ecology in Three Gorges Area

Scientific Thinking and Ecological Regulation Approaches About Carbon Emission from Littoral Wetland in Three Gorges Reservoir

YUAN Xing-zhong^{1 2} , LIU Hong¹ , WANG Jian-xiu³ , WANG Qiang^{1 2} , XIAO Hong-yan^{1 2}

(1. College of Resource and Environmental Science , Chongqing University ; 2. Key Laboratory of Southwest

Resource Exploitation and Environmental Disaster Controlling Project of Educational Ministry , Chongqing 400030 ;

3. Pengxi River Wetland Nature Reserve Management Bureau , Kaixian Chongqing 405400 , China)

Abstract : Littoral zone is the most active area in biogeochemical processes within the watershed landscape , and the hot spot in studying and controlling carbon emissions. During littoral zone exposed in the summer , plants grow strongly and play a function of carbon sink of by absorbing carbon dioxide. However , the littoral wetlands produce methane through the biogeochemical processes. More importantly , the littoral wetlands of the Three Gorges reservoir in winter inundating season , organic material accumulated during the growing season decompose anaerobic underwater and produce methane , carbon dioxide and nitrous oxide. The most obvious feature of carbon dynamics in littoral zone wetland is that , as the seasonal water level changes , carbon absorption and carbon emissions showed significant rhythm changes , its carbon emissions has obvious multi-sources. However , large-scale hydro-fluctuation belt of vegetation by the accumulation of carbon and nutrients is a very valuable resource , if properly used , can turn harm into advantage. Regulation of carbon emissions in littoral zone wetland must follow the principles such as controlled sources , increasing carbon sink , and sustainable utilization. The task ahead is to explore multi-scale , multi-angle quantitative analysis of carbon sources , carbon sinks of hydro-fluctuation belt and develop evaluation index system and comprehensive model , to explore the technological integration model in carbon source control , carbon sources reduction , and increase carbon sink , and to explore the integrated model of eco-friendly use.

Key words : water-level-fluctuation zone ; new created wetland ; carbon emission ; carbon sources ; carbon sink ; ecological utilization ; Three Gorges reservoir

(责任编辑 方 兴)