

三峡水库消落带湿地碳储量及空间格局特征*

孙 荣^{1,2}, 袁兴中^{2,3}

(1. 华侨大学 化工学院, 福建 厦门 361021; 2. 重庆大学 资源及环境科学学院;
3. 西南资源开发与环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘要:以 GIS 为支撑,以三峡水库消落带的空间关系、高程变化和坡度分布为基础,分析了三峡水库消落带碳储量的空间格局。结果表明,三峡水库消落带碳储量(单位:tC)约为 514 862.3 tC;不同高程带碳储量变化由高到低依次为高程带 160~170 m、150~160 m、170~175 m、145~150 m,其中高程带 160~170 m 的碳储量最高为 229 367.46 tC;不同坡度带碳储量变化由高到低依次为坡度带 5°~15°、0°~5°、15°~25°,其中坡度大于 25°的区域,由于水流冲刷和基岩出露,植被生长稀少,因此不考虑其地上部分和地下部分碳储量,估算该区域碳储量为 0,这也是不同高程带和不同坡度带计算出来的碳储量相差较大的原因。研究认为三峡水库独特的调节方式和消落带植被夏季生长茂盛可吸收并积累大量碳,具有较大的碳汇潜力;同时在迭加土壤、气候、人为干扰等多种因素后,碳储量表现出了明显的沿高程梯度和坡度梯度变化的趋势。

关键词:碳储量;空间格局;消落带;三峡水库

中图分类号:X171

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2012)03-0075-04

三峡水库消落带是三峡库区生态系统的重要组成部分,是三峡库区内生物地球化学过程最为活跃的区域,也是碳循环研究的热点区域^[1]。三峡水库实行“蓄清排浑”的运行方式,在库区两岸形成了与天然河流涨落季节相反,垂直落差 30 m 的消落带,面积达 348.93 km²,是中国面积最大的水库消落带。自 2006 年三峡水库 156 m 蓄水以后,消落带逐渐形成,国内外学者针对消落带植物种类、群落结构、生物多样性等开展了大量的研究^[2-5]。众多研究表明,消落带在夏季出露期,具有以草本植物为主、植被盖度高、物种少的特点^[6-7]。

植被是生态演替过程中的重要生物因子,在植被演替过程中,碳储量不断发生变化,梅雪英和张修峰在崇明东滩的研究表明,不同演替阶段的湿地植被均具有较高的固碳能力^[8]。目前,有关三峡库区碳循环及低碳经济发展的报道较多,贾国梅等^[9]分析了三峡库区不同植被覆盖下土壤碳的特征,王鹏

程等^[10]分析了三峡库区森林生态系统的碳储量,袁兴中等^[1]对三峡库区消落带湿地碳排放等进行了科学探索,但有关三峡库区消落带生态系统植被碳储量的系统性研究尚未见报道。为此,本文采用实地调查结果和查阅文献相结合的方法,对消落带生态系统植被的碳储量及空间分布特征进行估算,以期评估三峡库区消落带生态系统碳库潜力、研究制定三峡库区消落带生态系统碳汇管理对策提供科学依据。

1 研究方法

1.1 数据来源

运用 ArcGIS 9.0,从三峡库区 1:10 000 等高线图中提取 145~200 m 等高线,利用 3D 模块生成 DEM 模型,得到消落带不同高程带面积,并进一步分析得到坡度分布;利用水文分析模块,计算三峡库区各主要支流消落带面积构成。

* 收稿日期:2012-02-08 网络出版时间:2012-5-26 12:13

资助项目:华侨大学科研启动经费(11BS217);科技部农业科技成果转化资金项目(2011GB2F100010);重庆市科技攻关项目(国际科技合作基地/重点)(CSTC201120002);中国科学院城市环境与健康重点实验室开放基金(KLUEH201101)

作者简介:孙荣,男,讲师,博士,研究方向为环境科学、环境生态学;通讯作者:袁兴中,E-mail:zyxuan63@yahoo.com.cn

网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20120526.1213.201203.75_015.html

1.2 消落带碳储量计算

不同植被类型的碳密度不同,而同一植被类型在不同地区的碳密度也存在差异。本研究主要目的是了解三峡水库消落带碳储量的空间格局、水平分布等,因此借用王建超等^[11]研究成果,估算消落带生物量:在 145 ~ 150 m 高程带,地上生物量平均 0.39 kg/m²;150 ~ 160 m,地上生物量 0.51 kg/m²;160 ~ 170 m,地上生物量 0.79 kg/m²;170 ~ 175 m,地上生物量 0.61 kg/m²。众多研究表明,消落带在出露期主要是草本植物,按照草地生态系统计算地下部分生物量,地下部分生物量是地上部分生物量的 4.42 倍^[12]。按照方精云等^[13]采用的转换系数 0.45 将草本生物量(单位:g)转化为碳(单位:gC)。由于缺少不同坡度带植被生物量数据,因此采用全三峡库区消落带平均地上生物量,即总生物量 469 103.8 t 除以消落带面积 348.93 km²,结果为 1 344.4 t/km²。

根据高程和三峡水库调度运行特征,将消落带划分为 4 个带,即消落带下部 145 ~ 150 m、中下部 150 ~ 160 m、中上部 160 ~ 170 m 和上部 170 m ~ 175 m,计算每个带内的碳储量;参考国家关于不同坡度土地利用情况及三峡水库实际情况,将消落带按坡度划分为 4 种类型,即缓坡(坡度小于 5°)、斜坡(坡度为 5° ~ 15°)、陡坡(坡度为 15° ~ 25°)和险坡(坡度大于 25°),计算各类型的碳储量。

2 结果与分析

2.1 三峡水库消落带湿地碳储量

从表 1 可见,三峡水库消落带总碳储量(单位:tC)达到 514 862.3 tC,其中重庆部分 451 930.3 tC,湖北部分 62 932.1 tC,长江干流消落带碳储量为 207 432.2 tC,支流消落带为 307 430.0 tC,支流消落带碳储量占到总碳储量的 59.71%。消落带碳储量与三峡库区各支流的空间位置、高程、坡度及人为干扰等有关。

表 1 三峡水库消落带碳储量分布

Tab. 1 The distribution of carbon storage in drawdown area of Three Gorges Reservoir(TGR)

区域	消落带面积/km ²	地上部分碳储量/tC	地下部分碳储量/tC	总碳储量/tC	百分比/%
长江干流	140.58	38 271.6	169 160.6	207 432.2	40.29
支流	208.35	56 721.4	250 708.6	307 430.0	59.71
重庆部分	306.28	83 382.0	368 548.3	451 930.3	87.78
湖北部分	42.65	11 611.1	51 321.0	62 932.1	12.22
总计	348.93	94 993.1	419 869.3	514 862.3	100

2.2 沿高程梯度的碳储量分布

三峡库区消落带 4 个高程带碳储量见表 2。从表 2 可知,各高程带碳储量差异明显,地上部分、地下部分和总的碳储量变化趋势一致,由高到低依次为高程带 160 ~ 170 m、150 ~ 160 m、170 ~ 175 m、145 ~ 150 m。

2.3 沿坡度梯度的消落带碳储量分布

三峡库区消落带 4 个坡度带碳储量见表 3。从

表 3 可知,各坡度带碳储量差异明显,地上部分、地下部分和总的碳储量变化趋势一致,由高到低依次为坡度带 5° ~ 15°、0° ~ 5°、15° ~ 25°。对于坡度大于 25°的区域,根据现场调查,多分布在长江干流及支流的峡谷河段,此类河段一般基岩出露,几无植被生长,无论其地上碳储量和地下碳储量均非常稀少,因此本研究设定坡度大于 25°以上的区域其碳储量基本为 0,不予以考虑。

表 2 沿高程梯度消落带碳储量分布

Tab. 2 The distribution of carbon storage along elevation grade in drawdown area of TGR

高程/m	145 ~ 150	150 ~ 160	160 ~ 170	170 ~ 175	145 ~ 175
面积/km ²	55.83	108.93	119.03	65.13	348.92
地上部分碳储量/tC	9 799.92	24 999.44	42 318.72	17 875.44	94 993.52
地下部分碳储量/tC	43 315.65	11 0497.50	187 048.74	79 009.45	419 871.34
总碳储量/tC	53 115.57	135 496.94	229 367.46	96 884.88	514 864.85

表3 沿坡度梯度消落带碳储量分布

Tab. 3 The distribution of carbon storage along slope grade in drawdown area of TGR

	坡度				总计
	0°~5°	5°~15°	15°~25°	>25°	
面积/km ²	26.54	190.76	80.74	50.88	348.92
地上部分碳储量/tC	7 225.515	51 934.41	21 981.47	0	81 141.39
地下部分碳储量/tC	31 936.78	229 550.1	97 158.08	0	358 644.9
总碳储量/tC	39 162.29	281 484.5	119 139.5	0	439 786.3

3 结论与讨论

三峡水库独特的调节方式,使大面积平缓消落带在夏季生长季节吸收碳、发挥着碳汇的功能,储存了大量的碳。研究表明消落带内碳储量约为 514 862.3 tC,其中地上部分碳储量为 94 993.1 tC,地下部分碳储量为 419 869.3 tC。消落带以占三峡库区总面积 0.60% 的区域,其碳储量相当于三峡库区森林碳储量的按高程计算 0.18%;按坡度计算 0.15%^[10],这表明消落带具有相当大的碳储量潜力,这与三峡水库采用“蓄清排浑”的运行机制,在夏季出露期间,植被在此期间吸收了大量的 CO₂ 并积累了总量可观的生物物质直接相关。

众多研究表明,消落带植被的分布、数量与之处处的土壤环境、气候、土壤类型、水分状况、养分状况、蓄水前后人为干扰等直接相关,是多种因素综合影响的结果^[14]。由于三峡水库调度运行的特点,导致消落带出露成陆的季节和时间不同,具体体现在不同高程上消落带的受淹时间、程度等都存在差异,其中植被的生长、发育和群落盖度等都存在显著差异^[15-16],从而导致其地上部分碳储量变化显著(表2)。王建超等研究发现^[11],三峡库区消落带植被生物量呈现出明显的抛物线型,在消落带中部其生物量最高,导致碳储量最高。消落带不同高程地上部分、地下部分碳储量的分配格局特征等存在较大变化,位于消落带中部的 160~170 m 高程比其余几个带更高,与该高程带相比更低区域淹水时间更长,植物生长更好,其生物量自然高于比其更低的两个高程带。更低海拔的区域,一方面水位波动剧烈,有机质等被大量冲刷到河道中,导致地下部分碳储量较低,限制了其固碳能力的提高;另一方面受长时间淹水的影响,出露时间较短,植物生长期短,多以一年生草本为主,植物生物量较低,导致碳储量较低^[5,17]。与位于消落带上部的 170~175 m 相比,高

程带 160~170 m 的低洼缓平区域逐渐发育为新生湿地,其群落中的植物种类更多的是湿地植物,消落带上部更多的近似于陆地环境,而大量研究表明陆地生态系统单位面积生物量和碳储量均低于湿地生态系统^[18]。

坡度直接影响消落带土地出露面积的大小和形态,并影响和控制消落带土壤的冲刷侵蚀与泥沙淤积、地质灾害的发育、库岸稳定性、水分状况、养分状况及种子库等^[19-20],进而影响消落带植被的植物种类、群落结构及空间分布等生态学特征。这就直接影响了消落带的地上生物量和地下生物量,从而导致碳储量在不同坡度带的变化。从现场调查看,消落带出露以后,植被大量分布在坡度 5°~15° 的缓坡区域,调查发现,此类区域在蓄水以前以水田和旱地为主,通常在该类区域周围有低矮的田坎所拦阻,形成一个个小型的湿地塘系统,具有较高的生物量和碳储存潜力^[21]。

本研究虽然对三峡库区消落带植被碳储量及空间分布进行了估算,但其结果存在一定局限性和误差。从消落带不同高程带碳储量和坡度带碳储量的总量看,存在约 100 000 tC 的误差,这主要是由于一方面在计算时缺少具体不同坡度带植被的生物量数据,在进行计算时采用了消落带的平均生物量;另一方面对坡度大于 25° 以上的土质库岸区域本研究也未进行考虑,而这部分面积大约占到总面积的 1/7,在消落带植被的自然恢复过程中仍然具有较大的潜力。另外,所采用的数据没有对各种植被类型进行识别,采用的是区域整体的植被面积数据,并参考了三峡库区的平均生物量进行区域碳储量的估算,因而这也对碳储量的估算准确性造成影响。今后的研究将重点结合消落带不同高程、坡度水位变动的特点,进行多层面、多角度深入探讨,从而提出更为准确和具有操作性的消落带碳汇管理对策。

参考文献:

- [1] 袁兴中,刘红,王建修,等.三峡水库消落带湿地碳排放生态调控的科学思考[J].重庆师范大学学报:自然科学版,2010,27(2):23-25.
- [2] 李连发,廖建雄,江明喜,等.干藏和淹水对三峡库区21种草本植物种子萌发的影响[J].武汉植物学研究,2010,28(1):99-104.
- [3] 孙荣,袁兴中,刘红,等.三峡水库消落带植物群落组成及物种多样性[J].生态学杂志,2011,30(2):208-214.
- [4] 谭淑端,张守君,张克荣,等.长期深淹对三峡库区三种草本植物的恢复生长及光合特性的影响[J].武汉植物学研究,2009,27(4):391-396.
- [5] 王强,袁兴中,刘红,等.三峡水库初期蓄水对消落带植被及物种多样性的影响[J].自然资源学报,2011,26(10):1680-1693.
- [6] 洪明,郭泉水,聂必红,等.三峡库区消落带狗牙根种群对水陆生境变化的响应[J].应用生态学报,2011,22(11):2829-2835.
- [7] New T, Xie Z Q. Impacts of large dams on riparian vegetation: applying global experience to the case of china's three gorges dam [J]. Biodiversity and Conservation, 2008,17: 3149-3163.
- [8] 梅雪英,张修峰.崇明东滩湿地自然植被演替过程中储碳及固碳功能变化[J].应用生态学报,2007,18(4):933-936.
- [9] 贾国梅,张宝林,刘成,等.三峡库区不同植被覆盖对土壤碳的影响[J].生态环境,2008,17(5):2037-2040.
- [10] 王鹏程,邢乐杰,肖文发,等.三峡库区森林生态系统有机碳密度及碳储量[J].生态学报,2009,29(1):97-107.
- [11] 王建超,朱波,汪涛.三峡库区典型消落带淹水后草本植被的自然恢复特征[J].长江流域资源与环境,2011,20(5):603-610.
- [12] 周才平,欧阳华,王勤学,等.青藏高原主要生态系统净初级生产力的估算[J].地理学报,2004,59(1):74-79.
- [13] 方精云,杨元合,马文红,等.中国草地生态系统碳库及其变化[J].中国科学:生命科学,2010,40(7):566-576.
- [14] 孙荣,袁兴中,陈忠礼,等.三峡水库澎溪河消落带植物群落物种丰富度格局[J].环境科学研究,2010,23(11):1382-1389.
- [15] Liu G H, Li E H, Yuan L Y, et al. Landscape-scale variation in the seed banks of floodplain wetlands with contrasting hydrology in china [J]. Freshwater Biology, 2006,51: 1862-1878.
- [16] 孙荣,刘红,丁佳佳,等.三峡水库蓄水后开县消落带植物群落数量分析[J].生态与农村环境学报,2011,27(1):23-28.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 王晓荣,程瑞梅,肖文发,等.三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系[J].生态学报,2010,30(21):5821-5831.
- [20] 陈忠礼,刘红,孙荣,等.三峡库区澎溪河消落带湿地土壤种子库特征[J].重庆师范大学学报:自然科学版,2011,28(3):33-36.
- [21] 段晓男,王效科,尹弢,等.湿地生态系统固碳潜力研究进展[J].生态环境,2006,15(5):1091-1095.

(责任编辑 方 兴)