

河口潮滩湿地土壤有机碳固存潜力及其对人类活动的响应机制

王琳

天津地质矿产测试中心有限公司 天津 300100

【摘要】河口潮滩湿地在全球碳循环中扮演着重要角色，具有显著的土壤有机碳固存潜力。然而，日益频繁的人类活动深刻影响着这一生态系统的碳固存功能。本文综述了河口潮滩湿地土壤有机碳的来源、分布特征与固存机制，量化评估其固存潜力，并深入剖析围垦活动、污染排放和水利工程建设等人类活动对土壤有机碳固存的影响路径与响应机制，旨在为河口潮滩湿地的保护与可持续管理提供科学依据，助力全球碳减排目标的实现。

【关键词】河口潮滩湿地；土壤有机碳；固存潜力；人类活动；响应机制

Soil organic carbon sequestration potential and response mechanism to human activities in estuarine tidal flat wetland

Wang Lin

Tianjin Geological and Mineral Testing Center Co., LTD Tianjin 300100

【Abstract】 Estuarine tidal flats play a crucial role in the global carbon cycle, with significant potential for soil organic carbon storage. However, increasing human activities are profoundly impacting the carbon sequestration capabilities of this ecosystem. This paper reviews the sources, distribution characteristics, and storage mechanisms of soil organic carbon in estuarine tidal flats, quantitatively assesses their storage potential, and delves into the pathways and response mechanisms of human activities such as reclamation, pollution emissions, and water conservancy projects on soil organic carbon storage. The aim is to provide scientific evidence for the protection and sustainable management of estuarine tidal flats, contributing to the achievement of global carbon reduction targets.

【Key words】 estuarine tidal flat wetland; soil organic carbon; storage potential; human activities; response mechanism

1. 引言

河口潮滩湿地作为陆地与海洋生态系统的过渡地带，受潮水周期性淹没影响，形成了独特的生态环境。其丰富的植被和频繁的物质交换过程，使其成为高效的碳汇区域，对全球气候变化有着重要调节作用。随着工业化、城市化进程的加速，人类活动对河口潮滩湿地的干扰强度不断增大，湿地面积萎缩、生态功能退化，严重威胁到土壤有机碳的固存能力。因此，准确评估河口潮滩湿地土壤有机碳固存潜力及其对人类活动的响应，对于湿地生态系统保护、碳循环研究以及应对气候变化策略的制定具有深远意义。

2. 河口潮滩湿地土壤有机碳的来源与分布

2.1 有机碳来源

河口潮滩湿地土壤的有机碳，其来源是较为多元的，主要可划分成两个方面，一方面是本地植被的输入，另一方面则是外来有机质的输入。就本地植被来讲，像芦苇、碱蓬这类植物，它们会凭借光合作用来固定大气之中存在的二氧化碳，而这些植物地上部分所产生的凋落物，还有地下根系的分泌物以及残体等，都构成了土壤有机碳十分重要的内源。例如，芦苇群落有着较高的生产力，每年都会产生数量颇为可观的富含碳的凋落物，这些凋落物在微生物发挥作用的情

况下，会逐渐地分解并转化成为土壤有机碳。至于外来有机质，其主要来源是河流所携带的陆源有机物质以及海洋所输送的浮游生物残骸等。在河流径流的过程当中，它会对流域内的土壤、植被进行冲刷，进而将大量的有机碳输送到河口潮滩区域；而在海洋里，浮游植物、动物死亡之后，其中有一部分残骸会随着潮流进入到潮滩进行沉积，如此便给土壤有机碳库补充了外源碳。

2.2 分布特征

土壤有机碳在河口潮滩湿地中的分布呈现明显的垂直和水平差异。垂直方向上，表层土壤（0-20cm）有机碳含量较高，随着深度增加逐渐降低。之所以会出现这样的情况，是因为表层土壤那里的氧气含量相对而言是较为充足的，微生物的活动也很频繁，植被残体的分解与转化活动十分活跃，并且这里同时也是新输入的有机质主要的沉积层面。然而在深层土壤当中，有机质的分解速度较为缓慢，而且还受到成土过程、地质条件等等因素的影响，如此一来，其有机碳含量就趋于稳定状态了。从水平方向去看的话，从高潮滩一直到低潮滩这个范围，土壤有机碳含量通常是先出现升高的情况，而后再会降低下去。高潮滩的植被覆盖程度是比较高的，有机质的输入量也很大，不过其排水条件相对来讲是比较好的，这样就致使部分有机碳有可能因为氧化分解的作用而出现损失的情况；低潮滩虽说会频繁地受到潮水的冲刷，这也会带来一定量的外源有机碳，可是那里的水流速度

很快,这对于有机质的长期且稳定的沉积是不利的,并且其盐度也比较高,这对植被的生长起到了一定的限制作用,进而影响到了内源有机碳的输入情况。^[1]

3.河口潮滩湿地土壤有机碳固存机制

3.1 物理固存机制

物理固存往往着重依靠土壤颗粒针对有机碳所发挥的吸附以及包裹等作用。河口潮滩湿地的土壤,其质地是颇为细腻的,并且黏土矿物的含量处在一个相对较高的水平。它所具有的较为可观的比表面积,能够对有机碳分子起到吸附的作用,进而促使相对稳定的团聚体结构得以形成。潮水存在周期性的涨落现象,这一现象会推动土壤颗粒出现运移以及混合等情况,在此情形下,有机碳便会被包裹于土壤团聚体的内部,如此一来,其与氧气接触的机会就会相应减少,氧化分解的速率也会随之降低,这样就能够达成有机碳长期固存的效果。就拿长江河口潮滩来说吧,相关研究发现,在那里的土壤团聚体当中,有机碳的含量要明显高于分散的土壤颗粒,而且那些大团聚体(尺寸大于2mm)对于有机碳的固持能力表现得更为强劲,切实有效地延缓了有机碳的周转过程。

3.2 化学固存机制

化学固存这一过程会牵涉到土壤里面有机碳和矿物质所发生的化学反应。像铁、铝的氧化物以及碳酸钙这类矿物,它们是能够和有机碳产生络合物或者化学键的,如此一来便能够让有机碳的稳定性有所增强。在处于还原环境的时候,铁氧化物是可以被微生物还原成为亚铁离子的,而亚铁离子又会和有机碳相结合,进而形成那种难溶性的复合物,这样就起到了抑制有机碳分解的作用。除此之外,在河口潮滩湿地的土壤当中,腐殖质和有机碳之间会相互产生作用,它们会通过缩合、聚合等一系列反应,从而形成那种更加复杂且稳定的大分子结构,这无疑进一步提高了有机碳的固存效率。

3.3 生物固存机制

生物固存这一过程是由植物以及微生物一同来推动的。植物借助光合作用对二氧化碳加以固定,使其转变成为有机物质,并且凭借根系分泌物以及凋落物把这些物质输入到土壤当中。根系在其不断生长的这个过程里,还能够对土壤结构予以改善,让土壤孔隙度得以增加,进而促使土壤通气性以及水分运移状况变得更好,为微生物开展活动营造出较为适宜的环境条件。微生物在土壤有机碳进行分解、转化以及固存等方面发挥着极为关键的作用。一方面来讲,好氧微生物处于氧气较为充足的条件之下,会对简单有机碳展开分解操作,以此为自身的生长代谢活动供应所需的能量,而且部分代谢产物经过再合成这一过程之后,会转化成为更加稳定的腐殖质类物质;另一方面而言,厌氧微生物在处于缺氧的环境当中时,会针对复杂有机碳实施厌氧发酵处理,在此过

程中会产生甲烷等一些气体,不过与此同时,也会将部分有机碳转化成为那种难以分解的惰性有机碳,使其能够在土壤中长期得以保存下来。

4.河口潮滩湿地土壤有机碳固存潜力评估

4.1 基于现有储量的评估方法

对各个不同区域的河口潮滩湿地展开广泛的土壤采样工作之后,去细致分析处于不同深度的土壤有机碳含量情况,再把这些情况与湿地面积相关的数据联系起来考量,如此便能够对现有的土壤有机碳储量做出估算。就好比说,借助地理信息系统(GIS)技术这一手段,把土壤有机碳含量方面的数据和高精度的湿地空间分布地图相互融合到一起,这样一来,不但可以十分直观地将有机碳储量的空间分布格局呈现出来,而且还能精准地计算出区域的总储量数值。相关研究已经表明,在我国的部分河口潮滩湿地当中,像黄河三角洲、长江口之类的地方,其单位面积的土壤有机碳储量是处在一个相对较高的水平之上的,在全球范围的河口潮滩湿地里面具备着一定的代表性。按照现有的储量情况来做一番推算的话,这些区域依然有着颇为可观的固碳潜力存在。^[2]

4.2 考虑未来变化的预测模型

构建数学模型对于预测未来河口潮滩湿地土壤有机碳固存潜力而言,是极为重要的一种手段。一般来讲,模型会把气候变化方面的诸多情况,像温度的高低变化、降水的多少情况以及海平面上升与否等,连同植被演替的状况、土壤理化性质发生的改变,还有人类活动等诸多因素都综合起来加以考量,去研究这些因素对有机碳输入、输出这两个过程所产生的影响。土壤有机碳在河口潮滩湿地中的分布呈现明显的垂直和水平差异。垂直方向上,表层土壤(0-20cm)有机碳含量较高,随着深度增加逐渐降低。

5.人类活动对河口潮滩湿地土壤有机碳固存的影响

5.1 围垦活动

围垦堪称是人类针对河口潮滩湿地所开展的各项活动当中,影响极为显著的活动之一。数量颇为可观的潮滩湿地纷纷被围垦起来,其用途涵盖了农业、工业以及城市建设等诸多方面。围垦这一行为使得湿地原本的水文条件发生了改变,将潮水正常的涨落过程给阻断了,进而致使湿地的厌氧环境出现了变化,如此一来便对土壤有机碳的分解以及固存状况产生了影响。从一方面来讲,在围垦完成之后,湿地经过排水处理,这使得土壤的通气性得到了增强,好氧微生物的活动也随之变得更为活跃,有机碳的分解速率由此加快,最终导致土壤有机碳的含量有所降低。相关研究已经表明,在部分经历了围垦的河口潮滩区域,土壤有机碳的含量在围垦过后的几十年时间里,出现了幅度在20%至50%之间的下降情况。从另一方面来看,围垦活动对湿地植被造成了破

坏,使得有机碳的输入源头有所减少。湿地植被一旦消失,那么通过光合作用来固定的大气二氧化碳的量就会减少,并且凋落物以及根系分泌物等这类有机物质输入到土壤当中的数量也会大幅地降低,这进一步对土壤有机碳的固存能力起到了削弱的作用。如表 1 所示:

表 1 河口潮滩湿地土壤有机碳含量与积累速率变化

围垦情况	土壤有机碳含量 (g/kg)	有机碳积累速率 (g C/m ² /yr)
围垦前	18.5 ± 3.5	150 ± 20
围垦后 5 年	14.2 ± 2.8	80 ± 15
围垦后 10 年	11.3 ± 2.2	50 ± 10
围垦后 20 年	8.7 ± 1.8	30 ± 8

5.2 污染排放

随着工业化以及城市化不断发展,诸多污染物被排放到

表 2 河口潮滩湿地土壤微生物群落结构与有机碳分解速率变化表

污染程度	细菌数量 (× 10 ⁶ 个 /g 土壤)	真菌数量 (× 10 ⁴ 个 /g 土壤)	有机碳分解速率 (mg C/g 土壤 /d)
无污染	5.6 ± 0.8	3.2 ± 0.5	0.25 ± 0.05
轻度污染	4.8 ± 0.6	2.8 ± 0.4	0.30 ± 0.06
中度污染	3.5 ± 0.5	2.0 ± 0.3	0.40 ± 0.08
重度污染	2.1 ± 0.3	1.2 ± 0.2	0.55 ± 0.10

5.3 水利工程建设

水利工程建设方面,像大坝、水库以及河口整治工程等,对河口潮滩湿地土壤有机碳固存所产生的影响颇为深远。就大坝和水库的建设来讲,其使得河流的水动力条件以及泥沙输移规律都发生了改变。河流的流速由此减缓下来,泥沙便在库区开始淤积,如此一来,输入到河口潮滩湿地的泥沙还有有机物质的量就减少了。有相关统计显示,在一些大型水利工程建设完成之后,河口地区的泥沙通量居然减少了 50% 以上,这无疑让潮滩湿地土壤有机碳的外部输入源遭到了极为严重的削弱。再看河口整治工程,像航道疏浚、防波堤建设之类的工程,它们改变了河口地区的水动力环境以及地貌形态。航道疏浚这一工程破坏了潮滩湿地的底质结构,对土壤有机碳的沉积以及埋藏过程都产生了影响;而防波堤建设呢,则改变了潮汐流场,有可能致使潮滩湿地的淹没频率以及时间出现变化,进一步对土壤有机碳的分解和固存过程产生影响。^[3]

河口潮滩湿地之中,给土壤有机碳固存带来了负面的影响。在这当中,重金属污染的情况显得较为突出。像汞、镉、铅这类重金属一旦进入到土壤里面,便会对土壤微生物的活性以及群落结构产生影响,会对微生物分解和转化有机碳的过程起到抑制作用。就拿高浓度的汞来说,它会毒害土壤中的微生物,使得微生物对有机碳的矿化能力有所降低,从而致使有机碳在土壤里不断积累起来。不过,长时间存在的重金属污染也有可能促使土壤微生物的适应性发生改变,让一部分微生物群落出现变化,进一步对有机碳的固存机制产生影响。除此之外,诸如多环芳烃、农药等有机污染物同样会给土壤有机碳固存带来影响。这些有机污染物有可能和土壤有机碳相互作用,对有机碳的化学结构以及稳定性加以改变,或者是通过影响植被的生长情况,间接性地对有机碳的输入以及固存产生影响。如表 2 所示:

结论

河口潮滩湿地土壤有机碳固存是物理、化学与生物过程协同作用的结果,其来源广泛,分布呈现特定规律,具有较大的固存潜力。然而,围垦活动、污染排放和水利工程建设等人类活动,从不同途径干扰湿地生态系统,对土壤有机碳固存产生负面影响,导致固存潜力下降甚至碳汇功能逆转。因此,亟需采取有效措施保护和修复河口潮滩湿地,维持其土壤有机碳固存能力。未来研究应强化多学科合作,运用生态学、地球化学、水文学等方法,深入研究人类活动与自然因素共同作用下河口潮滩湿地土壤有机碳固存的机制。开发更精确的模型,考虑更多因素,提升预测有机碳储量变化的准确性。

参考文献

[1]王纯,陈晓旋,陈优阳,等.水盐梯度对闽江河口湿地土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响[J].环境科学学报,2019,39(9):9.DOI:CNKI:SUN:HJXX.0.2019-09-032.
 [2]张骞,姜彦彦,李秀珍,等.潮滩湿地植被发育年限对土壤有机碳含量及积累速率的影响[J].生态学杂志,2017,36(5):7.DOI:10.13292/j.1000-4890.201705.017.
 [3]刘长发,郑晶予,李晋,等.基于 GIS 的双台子河口潮滩湿地翅碱蓬和芦苇生境适宜度分析[J].水生态学杂志,2012,33(3):14-19.
 作者简介:王琳(1983年6月),女,汉族,天津,本科,工程师,研究方向为分析化学。