

# 辽河河口芦苇湿地沉积物中有机质含量的时空变化

芦晓峰<sup>1</sup>, 熊智<sup>1</sup>, 张亦舒<sup>1</sup>, 刘冰<sup>2</sup>, 王铁良<sup>1</sup>

(1. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866; 2. 辽宁环境监测试验中心, 沈阳 110161)

**摘要:**以辽河河口芦苇湿地为研究对象,对湿地土壤沉积物中有机质含量的变化规律进行研究,分别研究了湿地沉积物中有机质(SOM)在时间、空间上的变化规律。结果表明:时间变化上,近河区和远河区的芦苇湿地沉积物中SOM含量受时间影响显著,其中在9月份和10月份SOM含量较高,9月份SOM含量出现最大值。空间变化上,纵向上只有表层0—10 cm深度和其他深度(10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm, 40—50 cm)以及10—20 cm与40—50 cm深度的SOM含量上有显著的差异,其他深度间差异并不明显。远河区湿地沉积物在4月、5月、6月、9月、10月份时,0—10 cm和10—20 cm深度的沉积物中SOM含量较高,最大值多数在0—10 cm深度的沉积物上。在7月份和8月份时,0—10 cm深度沉积物的SOM含量最低。近河区湿地沉积物中SOM含量变化与远河区相比有差异,在4月、5月、6月、7月、8月份时受地表径流影响较为明显,SOM含量的最大值并不显著,各深度间SOM含量相差不大,20—40 cm深度的SOM含量略高。在9月、10月份,SOM最大值在0—10 cm深度的沉积物上,其他深度SOM含量相差不大。并且纵向上各深度间的SOM含量存在着线性相关关系。横向上在S1—3与S2—3位于缓冲区与试验区交界处,SOM含量较高;S1—6与S2—6和S2—7位于缓冲区与核心区的交界附近且SOM含量较高,这些点的SOM含量均远高于其他各点的SOM含量。通过研究SOM含量的时空变化,更加清楚地认识SOM的变化规律,为合理利用和开发芦苇湿地以及控制湿地污染,探究碳储量提供数据支持。

**关键词:**芦苇湿地; 沉积物; 有机质; 时间; 空间

中图分类号:S153.6<sup>+</sup>2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)05-0069-10

## Spatial and Temporal Variability of Organic Matter Quality of Sediment in Reed (*Phragmites australis*) Wetland of the Liaohe Estuary

LU Xiaofeng<sup>1</sup>, XIONG Zhi<sup>1</sup>, ZHANG Yishu<sup>1</sup>, LIU Bing<sup>2</sup>, WANG Tieliang<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2. Liaoning Provincial Environmental Monitoring Center, Shenyang 110161, China)

**Abstract:** Taking reeds in Liaohe estuary as samples of study, we aim to study the variation of total organic carbon (SOM) content of the wetland sediment and make a research of the change rules of SOM in time and space, respectively. It turned out that in the aspect of time, the SOM content was significantly influenced by time in reed wetland sediments of near and far riverfront, especially in September and October, it had higher SOM content of sediment and the highest in September. In the aspect of space, the surface sediment SOM content (0—10 cm) was significant different from other sediments in depths (10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm, 40—50 cm), and the difference between the SOM content of sediment in depth of 10—20 cm and that in the depth of 40—50 cm was significant, the SOM contents in other depth sediments had no obvious difference. At far riverfront and in April, May, June, September and October, the SOM contents of sediments in 0—10 cm and 10—20 cm depths were higher, and the maximum value of SOM content occurred in 0—10 cm depth. In July and August, the content of SOM was the least in the sediment in the depth of 0—10 cm. Compared with the far riverfront, the SOM content of near riverfront sediment was significant different because of the influence of the surface runoff in the months of April, May, June, July and August, the maxi-

收稿日期:2016-09-07

修回日期:2016-09-29

资助项目:国家自然科学基金资助项目(31200392);辽宁省农业领域青年科技创新人才项目(2015048)

第一作者:芦晓峰(1981—),男,辽宁省绥中县人,博士,副教授,硕士生导师,从事水土环境与生态工程方面研究。E-mail:13654906041@163.com

通信作者:王铁良(1965—),男,辽宁省黑山县人,博士,教授,博士生导师,从事水土环境与生态工程方面研究。E-mail:tieliangwang@126.com

imum value of the SOM content was not significant and the difference of SOM contents was small in different depths of sediments, but the SOM content was slightly higher than others in the depth of 20—40 cm sediment; in September and October, the maximum value of the SOM content occurred in the depth of 0—10 cm sediment and others were approximately equal. There was a linear correlation between the SOM content and the depth in the longitude. The area of S1—3 and S2—3 had the highest SOM content when it was located in the border between buffer and test area from the horizontal point of view, and the area of S1—6, S2—6 and S2—7 had the highest SOM content when it stayed near the border between the buffer and the core area. SOM contents in those areas were higher than the others. By studying the variations of the contents of SOM in time and space, it is clear to understand the change rules of SOM contents, what's more, it can provide data for rational usage, development of reed wetlands, control of wetland pollution and exploration of the carbon stock.

**Keywords:** wetland; sediment; organic carbon matter; spatial variation; temporal variation

湿地生态系统的碳循环正成为全球变化与陆地生态系统碳循环研究中的一大热点,在稳定全球气候变化中占有重要地位,其重要性主要表现在湿地土壤是陆地重要的有机碳库,土壤碳密度高,能够相对长期地储存碳,是多种温室气体的源和汇<sup>[1]</sup>。碳是天然湿地土壤中的关键生源要素,其含量变化直接影响湿地生态系统的生产力<sup>[2]</sup>。湿地土壤有机质(SOM)是气候变化的一种敏感指示物,能用来指示对气候变化的响应<sup>[1-3]</sup>。碳的源和汇是一个复杂的问题,并且在气候领域是有争议的问题<sup>[4]</sup>。它随时间的变化是取决于气候状态和湿地历史的状态<sup>[5]</sup>。净碳储存有很多潜在的影响因素,包括本地植物物种组成和生产力,分解率,外来沉积物输入,盐度、潮差、人类活动等<sup>[6]</sup>。湿地沉积物较高的湿度,并通过土壤呼吸、微生物作用和根呼吸作用对残骸的分解起到积极作用,从而影响 SOM 的归还率<sup>[7]</sup>。有机质的含量有明显的空间和季节的变化,和大多数滨海湿地一样,有机质含量从近海到内陆逐渐减少;有机质的季节变化主要是由水动力的改变所引起的<sup>[8]</sup>。湿地被广泛称为“流域之肾”,这是因为湿地形成沉积物的效力和水域表面营养物质的承载力<sup>[9]</sup>。SOM 的净保留量和植物的腐殖质可以调查研究多数的湿地<sup>[10]</sup>。与其他的生态系统相比较,碳储量较高的湿地为气候的调节提供着至关重要的作用<sup>[11]</sup>。土地の利用是影响湿地碳储量和流动的主要因素,在湿地排水和后续农业和林业的转换中,导致无氧条件下大幅增加 SOM 的分解,从而会使大量的碳释放到空气中<sup>[5]</sup>。有机质的输入和输出的平衡决定着湿地沉积物中碳的累积<sup>[12]</sup>。在春天时节里土壤有机质含量在表层最高,可能由分解植物的残体造成的<sup>[13]</sup>。碳与大气的交换是变化的,这由于季节的变化和短期气象条件下被驱使的沼泽水文的变化<sup>[14]</sup>。

土壤沉积物中 SOM 含量的变化不仅能说明 SOM 储量水平的变化趋势,同时还能体现湿地的污染状况。并且湿地中 SOM 的输入和输出方式的不同,也使得整个湿地沉积物中的 SOM 含量上不同。而人类的不合理开发与利用湿地,也是湿地沉积物中营养结构变化和紊乱的主要原因。湿地沉积物中 SOM 含量的差异研究,对解决湿地的富营养化和合理利用湿地有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域与概况

辽河口湿地国家级自然保护区位于辽宁省盘锦市境内,地处渤海辽宁湾顶部辽河入海处,是全国最大的湿地自然保护区,其芦苇面积居世界第一。总面积约 1 214.72 km<sup>2</sup>,周边地区主要是苇塘、农田、滩涂和海域<sup>[15]</sup>。辽宁辽河口湿地是辽河三角洲最具典型、原有湿地生态特征保存最好的区域,区内具有大面积的芦苇<sup>[16]</sup>。由于工业和第三产业的发展,使得辽河口湿地的环境受到了一定程度的影响。石油的开采,旅游业的发展,生活污水的排放,养殖业的普遍等,都成为干扰湿地生态系统正常发展的因素。

### 1.2 样品采集与分析

以辽宁省盘锦市遥感图像为选点和选线依据,通过对野外的实地勘测调查,采用 GPS 技术进行精确的定位。本次采样按自然保护区功能划分依据来采集样本,共采集 16 个不同采样点的样本(图 1)。其中试验区有 4 个采样点,缓冲区有 4 个采样点,核心区有 8 个采样点。辽河口湿地的芦苇一个完整的生长期在 4—10 月。因此,采集的时间也是从 4 月到 10 月。其中发芽期约在 4 月 1 日到 5 月 10 日,营养发育期约在 5 月 11 日到 7 月 13 日,生殖期约在 7 月

14日到8月31日,成熟期约在9月1日到10月31日。采集土样时,各采样点附近随机取3个土样,采用取土钻(长10 cm,直径10 cm)分别取0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm,30—40 cm,40—50 cm深度的土样。采样时间从2013年4月开始到2014年10月结束,累积1 120个土样。

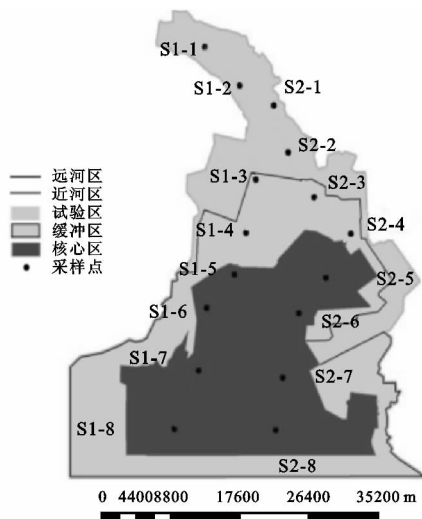


图1 采样区域图

将第一份采集样品在阴凉处风干,在土样半干的状态时,将其捏碎。在各采样点附近所采集的三个样品均匀混合,并用四分法处理。在土样风干后,去除根系和杂质,用玻璃棒研磨过2 mm尼龙筛。取200 g沉积物样品,用玛瑙研钵研磨过100目(0.154 mm)筛。SOM含量测定采用重铬酸钾稀释热法<sup>[17-18]</sup>。测试过程所用的试剂全部为优级纯,所用的蒸馏水为超纯水。测试中每个样品均重复测定3次,同时加入中国国家标准土壤参比物质进行质量控制,分析结果符合质控要求。

### 1.3 数据处理与分析

本文数据利用SPSS 19.0(显著水平取0.05);绘图利用Sigmaplot 12.5绘制。在时间和空间上应用单因素方差分析的方法进行数据分析,结果显示时间和空间的横向对SOM含量影响是非常显著的。空间纵向上显著性不明显。但纵向的各深度间的线性相关性较为显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 湿地沉积物SOM含量的变化规律

#### 2.1.1 湿地沉积物SOM含量随时间的变化规律

远河区S1中(图2)。4月份SOM含量较低。4—5月份和6月份时SOM含量升高,7月、8月份SOM含量有小幅度的下降。在9月、10月份SOM含量较

高,远大于其他月份,9月份的SOM含量取得最大值,近河区S2和远河区SOM的变化规律相似。出现此SOM变化规律的原因是:4月份沉积物温度低,累积在地表的残枝落叶、动物的残骸及土壤沉积物中的死亡根系受微生物的分解作用也较弱,因此沉积物中有机质的输入量较少。而芦苇处在萌芽期,需要吸收一定量的有机质,因此4月份土壤沉积物中的有机质含量较低。5月、6月、7月份温度升高,表层分解作用增强,SOM输入量增加;芦苇处在发育期吸收一定的SOM,但吸收量小于输入量,因此SOM含量会上升。7月、8月份温度最高,沉积物中分解作用大,呼吸作用也较强,造成SOM输入沉积物中的量小于5月、6月份;芦苇处于生长期,大量吸收SOM,因此7月、8月份SOM含量有小幅度的下降。9月份到10月份为芦苇的成熟期,有大量的枯枝残叶凋落并且产生一定量的死根,输入来源上有所增加;而芦苇的成熟期对土壤沉积物中的SOM需求上会逐渐减少,因此输出上会有所减少,所以9月份沉积物中SOM含量有所累积达到最大值。10月份时,气温大幅度下降,表层分解速率下降。因此9月份的SOM含量上要高于10月份SOM的含量。图中显示S1—5中6月份SOM含量较高,可能是由于S1—5(大桥东北侧)在6月份时受人为干扰较为严重,使得SOM含量输入量增加。

湿地沉积物中有机质的输入依赖于有机残体归还量的多少及有机残体的分解<sup>[13]</sup>。有机残体归还量的多少及有机残体的腐殖化系数决定了土壤有机物质的输入量<sup>[18-19]</sup>。湿地土壤的有机质含量取决于有机物的输入量和输出量。天然湿地土壤中的有机质主要来源于土壤原有机质的矿化和动植物残体的分解,有机质的输出量则主要包括分解和侵蚀损失,受各种生物和非生物条件的控制<sup>[20]</sup>。芦苇湿地的土壤有机质主要来源于生长在其上的自然植被的残体,(地上部的枯枝落叶、地下部的死亡根系及根的分泌物)及动物残体。自然土壤的芦苇湿地,土壤有机质主要分为两大类:一类是有机残体组成的有机化合物,它包含于正在分解着的有机残体中,是这些有机残体的分解产物或利用这些残体的微生物代谢产物和合成产物;另一类是普遍存在于土壤和江湖河海底部淤泥中的腐殖物质,是土壤有机质的重要组成部分<sup>[21]</sup>。芦苇生长的过程也是部分器官枯萎的过程。3—6月芦苇生物量增加很快,这时枯萎的叶子很少。6月份到8月份时,生长进入相对稳定期,枯萎量维持在20%以下。9月之后,芦苇枯萎加快;10月立枯

生物量所占比例平均为 32.2%<sup>[22]</sup>。Howard-William 和 Brix 指出,植物吸收营养物质只是临时的储存,这部分储存会达到饱和,并且随着植物的枯萎,营

养物质会逐渐释放出来<sup>[23-24]</sup>。10 月份的芦苇进入成熟期,其根系固定了较多的碳,并且地表有大量的枯落物,成为表层土壤 SOM 重要的来源<sup>[25]</sup>。

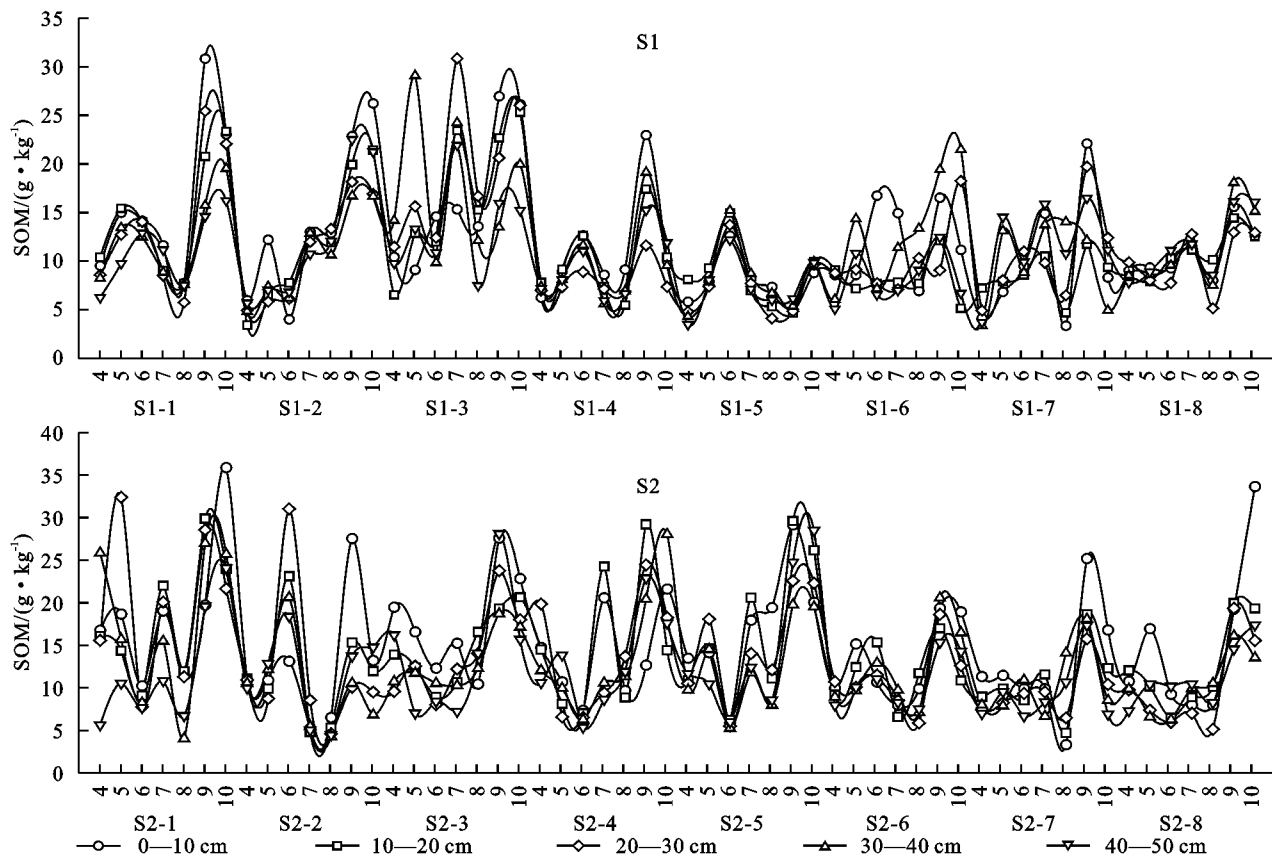


图2 S1,S2 湿地沉积物 SOM 含量随时间的变化规律

2.1.2 湿地沉积物 SOM 含量的空间变化 远河区 S1 的空间分布轮廓线图 3。纵向上,4 月份各深度间 SOM 含量差异并不明显;5 月、6 月、9 月、10 月 4 个月份,在 0—10 cm 附近有一个极值点,即 SOM 含量较高;7 月、8 月份表层 0—10 cm 深度的 SOM 含量最低,SOM 含量的最高值则集中在 20—30 cm 深度上。出现以上规律原因是:4 月份温度低,各深度沉积物分解作用相差不大,芦苇处在萌芽期对 SOM 需求并不大,因此纵向上差异不大。5 月、6 月份沉积物在 0—10 cm 深度沉积物的分解作用都较强,大量的 SOM 从表层向下输入,因此表层 SOM 含量最高。7 月、8 月份虽然表层 SOM 分解作用较强,但由于温度高,表层的呼吸作用也非常强,使部分 SOM 释放在空气中。7 月、8 月份芦苇对 SOM 的需求量也较高,因此表层 SOM 含量最小。9 月、10 月份温度逐渐降低,表层动植物残体累积量最大,SOM 仍然不断从表层输入,且芦苇需求量大大减低,因此 0—10 cm 深度 SOM 含量最高。横向上,4 月、5 月、6 月、7 月、8 月、10 月 6 个月份的时间里,在 S1—3 点出现极大值,范

围为 12~30 g/kg;在 6 月、8 月、9 月、10 月 4 个月份里,S1—6 点附近的 30 cm 和 40 cm 深度附近出现极大值,范围为 6~20 g/kg。但在 S1—3 处 SOM 取得最大值。取样点 S1—3 位于加油站附近,加油站附近有可能受原油泄漏,并且此处处于人类活动密集的地方,周围环境受污染较为明显,因此沉积物中 SOM 含量最高。S1—6 取样点为欢八井附近(南侧标牌“辽河油田专用公路”标记),受石油的影响也较为明显,因此在 S1—3 和 S1—6 点分别出现 SOM 含量的最大值点和极值点与事实是极相符的。

近河区 S2 区域空间变化规律(图 4)。整体上近河区 S2 的 SOM 含量高于远河区 S1 的 SOM 含量。纵向上,4 月、5 月、6 月、7 月、8 月份各深度间 SOM 含量相差不大,但在 20—40 cm 深度上多出现极大值点。9 月、10 月份在 0—20 cm 深度的 SOM 含量略高于 40—50 cm 深度,其他深度 SOM 含量相差不大。近河区 S2 的 SOM 含量高于远河区 S1,可能由于河水 SOM 含量较高,提供了 SOM 的输入。而 4—8 月份纵向 SOM 含量差异不大,可能由于近

河区地表径流影响强烈,使得各深度间 SOM 渗透速度较快,从而不能形成有效的 SOM 累积。9 月、10 月份处于河流的早期,地表径流作用减弱。因此表层仍然累积量明显,取得 SOM 含量的最大值。横向上,在 4 月、7 月、8 月、9 月、10 月 5 个月份里,S2—3 和 S2—6 取样点的 SOM 含量明显高于其他各点的 SOM 含量,在 5 月、6 月份的 S2—7 点区域取得极大值。S2—3 点位于胜利塘大桥南侧,S2—6 位于八道

沟(景区土路向东),S2—7 位于鸳鸯沟距海较近的位置。即在 S2—3,S2—6,S2—7 的三个区域受人为干扰较为严重,并且远河区 S1 中,S1—3 与 S2—3 位于缓冲区与试验区的交界处,S1—6 与 S2—6 和 S2—7 也位于缓冲区与核心区的交界附近,此区域与以上区域相似,SOM 含量相对较高。说明功能区的边界受人为干扰而引起有机质含量高于其他非边界区域的现象也是与事实相符的。

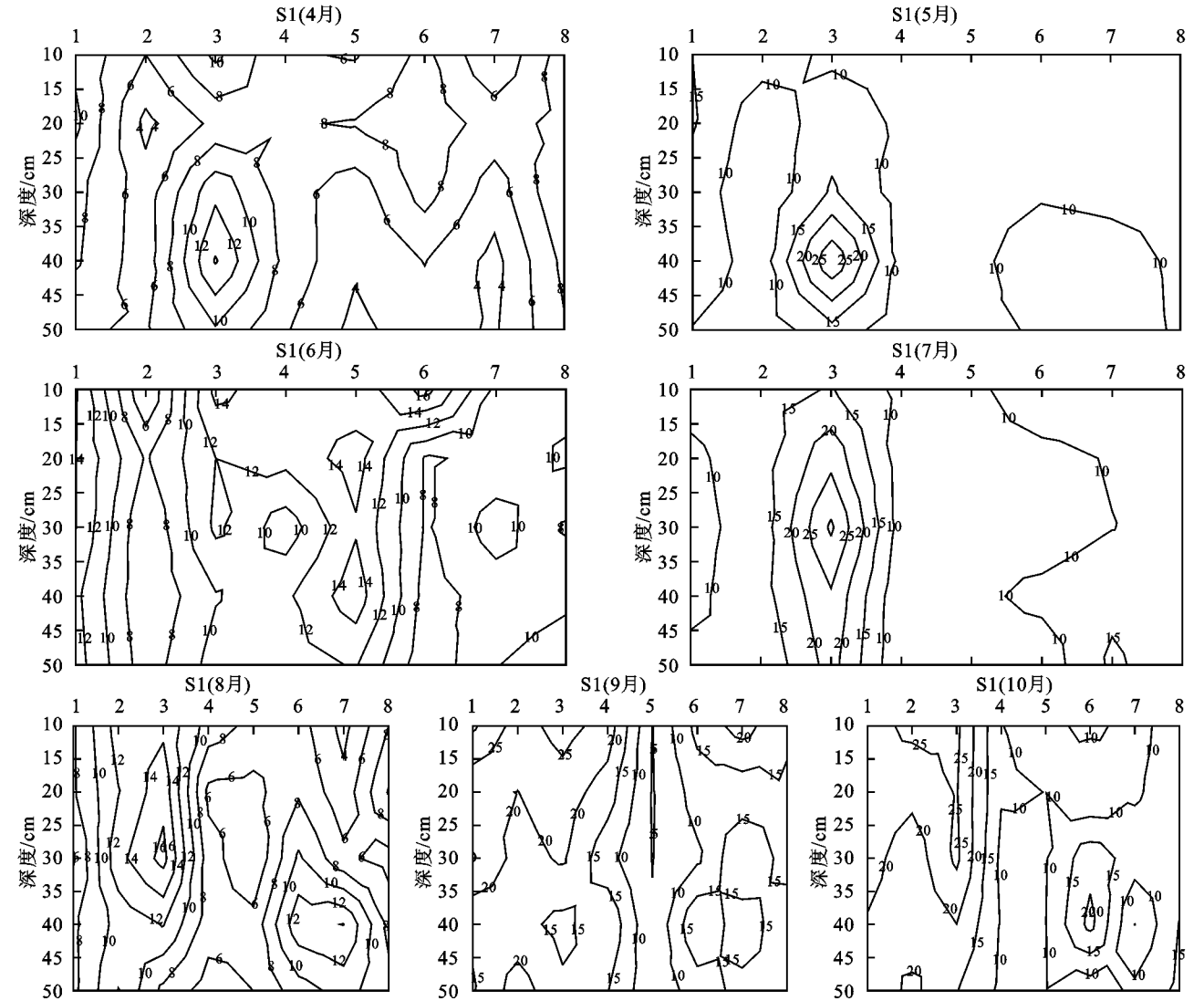


图 3 S1 湿地沉积物 SOM 含量空间变化规律

植物的根分解所提供的有机质主要贡献在表层的 0—30 cm 深度的土壤<sup>[26]</sup>,这些根的腐烂分解能增加表层土壤 SOM 的含量<sup>[27]</sup>。湿地土壤有机质的组成成分与土层深度密切相关,并显著影响着土壤有机质的分解和土壤的呼吸作用<sup>[28]</sup>。可溶解的有机质可从表层向土壤更深处移动,这会导致有机质在没有植物覆盖的 10—20 cm 深度处沉积物产生富积<sup>[29]</sup>。吕国红等研究认为,7 月、8 月份土壤 SOM 含量最低值在 0—10 cm 深度上,累积峰值位于 10—20,20—30

cm;9 月土壤有机碳与 7 月相反,最高值在 0—10 cm,最低值在深度 10—20 cm 上<sup>[30]</sup>。王爱军等研究发现 SOM 含量在各类型湿地剖面中均表现为由表层向下逐渐降低的趋势,并且人为活动增加了海岸湿地环境的 SOM 含量。Svenja Karstens 指出在 Michaelsdorf 的内部区域碳含量最高发生在湿地的表层,并且 Michaelsdorf 区域内也是垃圾最多的地方;在 Michaelsdorf 区域测量出的碳储量比其他区域的高<sup>[31]</sup>。由于高生物量的产出和垃圾的富积以及

作为栖息地的功能,此芦苇区域影响着沉积物的构成<sup>[32]</sup>。在高生物量产出的芦苇湿地,结合着污染物停留在沉积物表层,会使其 SOM 的堆积速率高于大

米草类湿地五倍<sup>[33]</sup>。本研究中芦苇湿地沉积物的有机质来源受芦苇植物的影响,同时也受人为干扰严重。

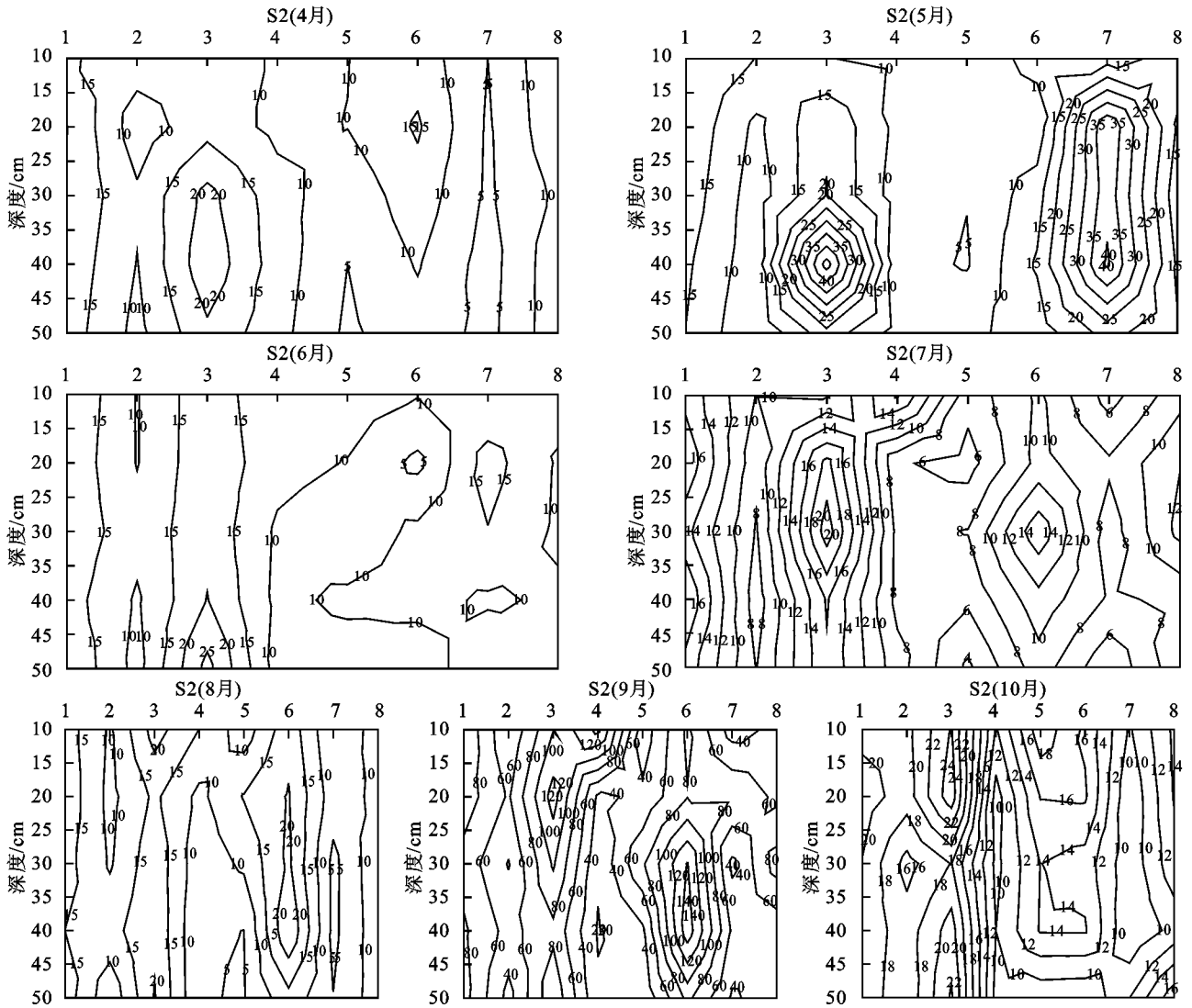


图4 S2 湿地沉积物 SOM 含量空间变化规律

2.1.3 湿地沉积物中表层各深度间 SOM 含量的相关性 在沉积物深度对 SOM 含量的单因素方差检验中,结果为不显著。可能原因是由于 0—50 cm 深度处在离地表较近的位置, SOM 在此深度下渗的渗透量相差不大。而在 SOM 含量随深度的配对  $T$  检验中看到:不同深度间的 SOM 含量存在着显著的相关性,并且为正相关。远河区 S1 和近河区 S2 共 16 个点各个深度间的线性模型为:  $Y_i = y_0 + hX_{i+1}$ , 其中  $Y_i$  和  $X_{i+1}$  均为 SOM 的含量 ( $i \in 10, 20, 30, 40$ )。分别表示 0—10 cm, 10—20 cm, 20—30 cm, 30—40 cm),  $y_0$  和  $h$  均为常数。

远河区 S1 中进行 0—50 cm 深度间的线性拟合。拟合结果中(图 5),在 S1—6 点可决系数  $R^2$  为 0.14, 系数的显著性检验中  $p = 0.4778 > 0.05$ , 即说明

S1—6 的各深度间线性不明显。S1 区域的其他各点可决系数  $R^2$  多在 0.75 水平以上,系数显著性  $p$  值远远小于 0.05,说明各个深度间的 SOM 含量线性相关性明显。其中,在 S1—2 点的相关系数达到 0.9 以上。

近河区 S2 各点的线性拟合结果(图 6)可决系数  $R^2$  均在 0.5 水平以上,系数的显著性水平  $p$  值均小于 0.001(0.05 水平下)。说明远河区 S2 各点的线性关系显著。

出现正相关关系的可能原因是:在 0—50 cm 深度的芦苇湿地沉积物中 SOM 来源于地表微生物分解、有机质下渗和沉积物中有机物质的分解,各深度的 SOM 由于来源方式的相同和 SOM 间的相互传递,使得各深度间的 SOM 含量上有相关关系。

经 2014 年的数据验证得出以上规律都基本符

合,只是 2014 年 SOM 含量略高于 2013 年。也说明湿地 SOM 的含量也在不断累积,富营养化现象不容乐观,因此辽河口湿地的研究也迫在眉睫。

2.2 讨论

2.2.1 SOM 含量的时间变化 芦苇湿地沉积物中 SOM 在时间尺度上的变化和芦苇的生长期是密切相关的。吕国红等研究发现 7 月,8 月份芦苇湿地表层

与其他相应的月份各层相比土壤的有机碳含量最低;9 月、10 月份的芦苇湿地有机碳的含量最高。7 月份和 8 月份的土壤地表温度相对较高,而土壤呼吸与地表的温度成正比,因此土壤呼吸的加强可能是造成土壤表层有机碳含量低的原因之一<sup>[30]</sup>。文献中研究了 7 月、8 月、9 月、10 月份的土壤有机质含量,并且研究成果与本文出现的规律完全吻合。

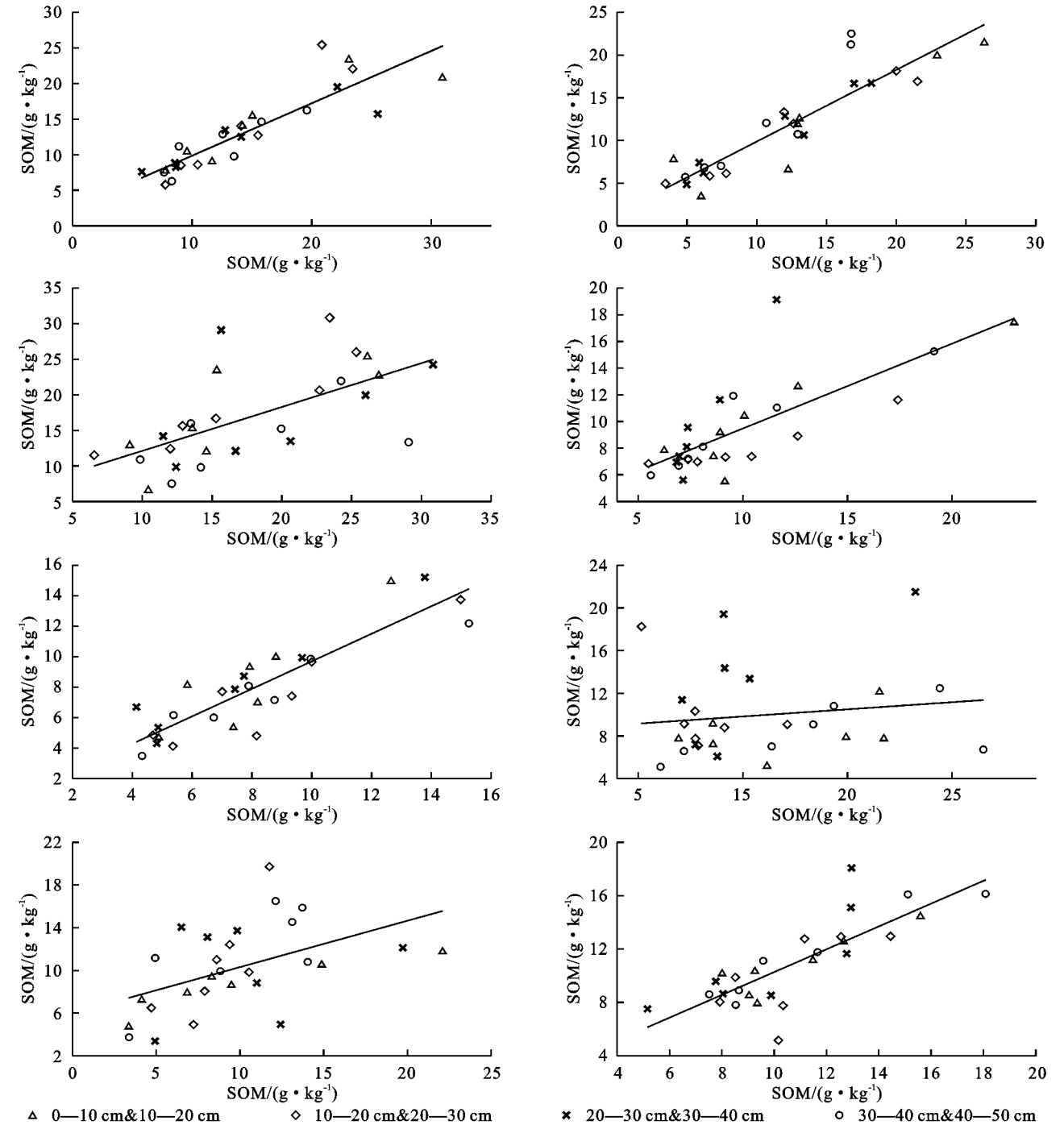


图 5 远河区 S1 不同深度间 SOM 含量的关系

在萌芽期(4 月、5 月份)时沉积物中 SOM 含量较低,低于 7 月、8 月份,可能由于温度较低,分解作用较弱,芦苇的吸收量较少,因此含量最低。发育期

(5 月、6 月、7 月份)的 SOM 含量略高于 7 月、8 月份,可能由于发育期的温度升高,沉积物中有机质分解作用强烈和呼吸作用较弱,使得输入量远大于芦苇

的吸收,因此会有 SOM 的累积。罗先香等指出,湿地表层土壤,10 月份的 SOM 含量明显高于 5 月份的 SOM 含量,主要原因是:土壤有机碳的积累主要由有机质输入与不同类型碳矿化速率间的平衡决定<sup>[30]</sup>。5 月初植物进入了旺盛的生长季,土壤中的 SOM 含量主要取决于上一年的累积,并且经过较长时间的土壤冻结过

程,冻融作用加速了有机碎屑的分解和有机碎屑中碳的矿化过程,使得 5 月初土壤中 SOM 含量明显小于 10 月<sup>[34]</sup>。本文中出现的时变化规律与以上结论均相符,并且能清楚知道沉积物中 SOM 随整个芦苇生长期的变化状态,这也是本文的特色所在。但本文在各生长期的 SOM 变化量上有待进一步的研究。

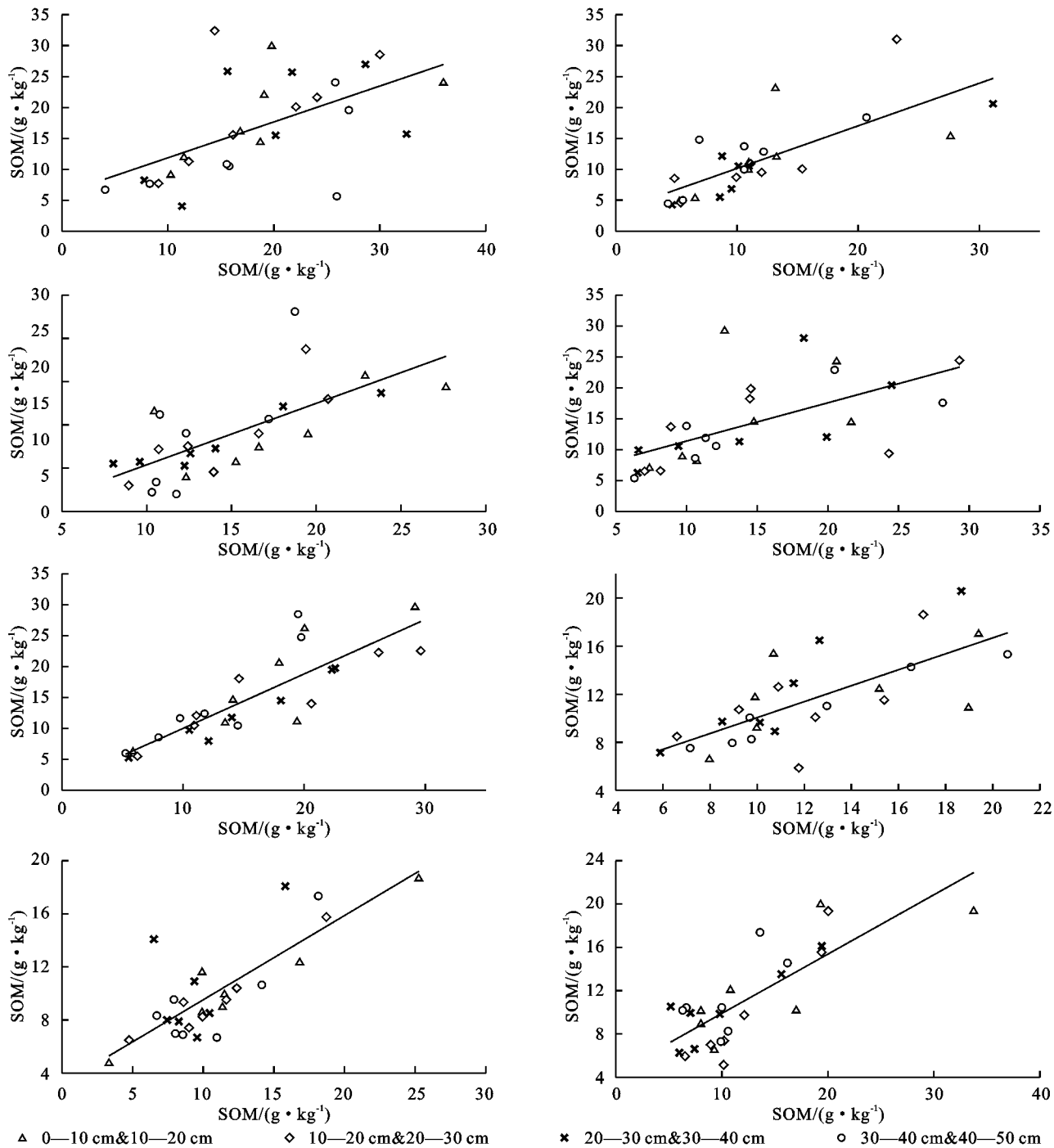


图 6 近河区 S2 不同深度间 SOM 含量的关系

2.2.2 SOM 含量的空间变化 蒋薇等指出,在人为干扰作用下白洋淀典型台田湿地土壤中有机碳含量随土层深度的增加呈现先增加后减小的趋势,累积的峰值在 10—20 cm 土层上<sup>[18]</sup>。毛志刚等指出芦苇滩

有机碳高含量分布区集中在表层 0—10 cm,但随着深度的增加,有机碳含量迅速下降。盐城海滨湿地的各个植被带土壤中有机碳的垂直分布趋势均表现为自表层向下逐渐降低<sup>[35]</sup>。谢文霞等研究发现 SOM



含量在垂直方向上由表层向下呈逐渐降低的趋势,峰值大多在表层 0—10 cm 深度处<sup>[36]</sup>。以上文献结论与本研究相比部分规律是相符的。在纵向上,本文中沉积物的 SOM 含量出现规律是:在远河区的 5 月、6 月、9 月、10 月份时最大值在 0—10 cm 深度时取得最大值,这与毛志刚等的研究相符。4 月份 SOM 含量相差不大,7 月、8 月份 0—10 cm 深度的 SOM 含量最低,此结论与前人研究不相符。近河区 4 月、5 月、6 月、7 月、8 月份的各深度间 SOM 含量相差不大,9 月、10 月份在 0—20 cm 深度 SOM 取得最大值,此规律与蒋薇等的研究相符。由此可知 SOM 的含量空间纵向分布受时间和地理环境影响较大,且不同时间和空间下的 SOM 含量规律不同,各深度间的 SOM 含量还呈现正向相关的关系。通过比较近河区和远河区沉积物 SOM 空间纵向分布的不同,能了解河水污染的状况,能清楚知道表层纵向的 SOM 含量变化。横向上按照自然保护区功能分区取样研究是本文的特色之处,研究中发现功能区交界处(S1—3, S1—6, S2—3, S2—6, S2—7) SOM 含量普遍偏高,这与人为因素密不可分。横向整体功能区比较中,也发现上游试验区比缓冲区的 SOM 含量略高,而缓冲区比核心区的 SOM 略低,由于取样点数量的限制只能初步判断整体变化趋势,可能原因是上游人工养殖和耕地种植等人类活动使得区域性的 SOM 含量较高,而核心区距海较近,受潮汐影响也较为突出,因此造成整体缓冲区 SOM 含量略低。本文空间变化研究上也存在着不足,纵向上 SOM 变化的输入和输出的定量上不能实现,各深度间线性关系也并不是唯一的相关关系,可能存在其他相关关系。在确定污染来源和污染范围上较为粗略,可以在本文的基础上进一步深入研究。由于季节交替,人类在河流上活动(比如河流上游养鱼等)的不确定因素而造成沉积物中 SOM 含量的变化等方面的研究,需要更多的数据和实时的统计,以清楚认识 SOM 含量变化的根源。

### 3 结论

远近河区沉积物 SOM 变化,在时间尺度上:湿地沉积物中 SOM 含量受芦苇的生长影响较大,不同的芦苇生长周期其沉积物的 SOM 含量差异很大。4 月份芦苇萌芽期的沉积物中 SOM 含量较低。5 月份和 6 月份时芦苇发育期的沉积物中 SOM 含量升高,7 月、8 月份芦苇生殖期的沉积物中 SOM 含量略低于 5 月、6 月。在 9 月、10 月份芦苇成熟期的沉积物中 SOM 含量较高,远大于其他月份,9 月份的 SOM 含量取得最大值。

空间尺度上:研究发现湿地沉积物受河流、深度、横向地理差异,人为因素影响较为明显。(1) 近河区的 4 月、5 月、6 月、7 月、8 月份各深度的 SOM 含量相差不大,但在 20—40 cm 深度上多出现极大值点。9 月、10 月在 0—20 cm 深度取得最大值。远河区 4 月份各深度间 SOM 含量差异并不明显;5 月、6 月、9 月、10 月 5 个月份,在 0—10 cm SOM 含量最高;7 月、8 月份时表层 0—10 cm 深度的 SOM 含量最低, SOM 含量的最高值则集中在 20—30 cm 深度上。(2) 位于缓冲区与试验区的交界处的 S1—3, S2—3, 以及缓冲区与核心区的交界附近的 S1—6, S2—6 和 S2—7 区域,其 SOM 含量明显高于其他各区域,并且整体上试验区的 SOM 含量略高于缓冲区,而缓冲区的 SOM 含量略低于核心区。

#### 参考文献:

- [1] 刘春英,周文斌.我国湿地碳循环的研究进展[J].土壤通报,2012,43(5):1264-1269.
- [2] 江长胜,王跃思,郝庆菊,等.土地利用对沼泽湿地土壤碳影响的研究[J].水土保持学报,2009,23(5):248-252.
- [3] Mitsch W J. Wetlands[M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1986:89-125.
- [4] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)[M]. The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change (Addendum), FCCC/CP/1997/L7/Add.1, December 10.
- [5] Mitra S, Wassmann R, Vlek P L G. An appraisal of global wetland area and its organic carbon stock[J]. Curr. Sci., 2005,88:25-35.
- [6] Callaway J C, Borgnis E L, Turner R E, et al. Carbon sequestration and sediment accretion in San Francisco Bay tidal wetlands[J]. Estuaries and Coasts, 2012,35:1163-1181.
- [7] Eric A. Davidson, Ivan A. Janssens. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change[J]. Nature, 2006,440:165-173.
- [8] 王启栋,宋金明,李学刚.黄河口湿地有机碳来源及其对碳埋藏提升策略的启示[J].生态学报,2015,35(2):568-576.
- [9] Mitchell D. Floodplain wetlands of the Murray-Darling Basin: management issues and challenges. Murray-Darling Basin floodplain wetlands management., 1994.
- [10] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands[M]. New York: 2007.
- [11] Anderson-Teixeira K J, DeLucia E H. The greenhouse gas value of ecosystems[J]. Global Change Biol., 2011,17:425-438.
- [12] Bernal B, Mitsch W J. A comparison of soil carbon pools and profiles in wetlands in Costa Rica and Ohio. Ecological Engineering, 2008,34:311-323.
- [13] Fang C, Smith P, Moncrieff J B, Smith J U. Similar response of labile and resistant soil organic matter

- pools to changes in temperature[J]. *Nature*, 2005, 433:57-59.
- [14] Clair T, Arp P, Moore T, et al. Gaseous carbon dioxide and methane, as well as dissolved organic carbon losses from a small temperate wetland under a changing climate [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116, S143-S148.
- [15] 芦晓峰, 苏芳莉, 王铁良, 等. 芦苇湿地生态功能及恢复研究[J]. *西北林学院学报*, 2011, 26(4): 53-58.
- [16] 芦晓峰, 张亦舒, 王铁良, 等. 辽宁双台河口湿地各功能区中沉积物全磷的时空分布规律[J]. *沈阳农业大学学报*, 2015, 46(6): 751-756.
- [17] Weng H X, Zhang X M, Chen X H, et al. The stability of the relative content ratios of Cu, Pb and Zn in soils and sediments[J]. *Environmental Geology*, 2003, 45: 79-85.
- [18] 蒋薇, 白军红, 高海峰, 等. 白洋淀典型台田湿地土壤生源元素剖面分布特征[J]. *水土保持学报*, 2009, 23(5): 262-264.
- [19] Alvarez J A, Becares E. The Effect of Plant Harvesting on the Performance of a Free Water Surface Constructed Wetland[J]. *Environmental Engineering Science*, 2008, 25(8): 1115-1122.
- [20] 白军红, 邓伟, 张玉霞, 等. 洪泛区天然湿地土壤有机质及氮素空间分布特征[J]. *环境科学*, 2002, 23(2): 77-81.
- [21] 刘树, 梁漱玉. 芦苇湿地土壤有机质含量对芦苇产能的影响研究[J]. *现代农业科技*, 2008(7): 231-234.
- [22] 金卫红, 付融冰, 顾国维. 人工湿地中植物生长特性及其对TN和TP的吸收[J]. *环境科学*, 2007, 20(3): 76-80.
- [23] Howard-William C. Cycling and retention of nitrogen and phosphorus in wetlands: A theoretical and applied perspective [J]. *Freshwater Biology*, 1985, 15(4): 393-398.
- [24] Brix H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands[J]. *Water Sci Technol*, 1997, 35(5): 11-17.
- [25] 刘景双, 杨继松, 于君宝, 等. 三江平原沼泽湿地土壤有机碳的垂直分布特征研究[J]. *水土保持学报*, 2003, 17(3): 5-8.
- [26] Hughes F M R. The influence of flooding regimes on forest distribution and composition in the Tana River Flooding, Kenya[J]. *J. Appl. Ecol.*, 1990, 27: 475-491.
- [27] Bernal B, Mitsch W J. A comparison of soil carbon pools and profiles in wetlands in Costa Rica and Ohio[J]. *Ecological Engineering*, 2008, 34: 311-323.
- [28] Fang C, Smith P, Moncrieff J B, et al. Similar response of labile and resistant soil organic matter pools to changes in temperature[J]. *Nature*, 2005, 433: 57-59.
- [29] Reddy K S, Mohanty M, Rao D L N, et al. Nitrogen mineralization in a Vertisol from organic manures, green manures and crop residues in relation to their quality[J]. *Agrochimica*, 2008, 43: 1-13.
- [30] 吕国红, 周莉, 赵先丽. 芦苇湿地土壤有机碳和全氮含量的垂直分布特征[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(3): 384-389.
- [31] Svenja Karstens, Uwe Buczko, Gerald Jurasinski, et al. Impact of adjacent land use on coastal wetland sediments[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 550: 337-348.
- [32] Rooth J, Stevenson J, Cornwell J. Increased sediment accretion rates following invasion by *Phragmites australis*: the role of litter[J]. *Estuaries*, 2003, 26(2B): 475-483.
- [33] Windham L. Comparison of biomass production and decomposition between *Phragmites australis* (common reed) and *Spartina patens* (salt hay grass) in brackish tidal marshes of New Jersey, USA [J]. *Wetlands*, 2001, 21(2): 179-188.
- [34] Grofman P M, Driscoll C T, Fahey T J, et al. Effects of mild winter freezing on soil nitrogen and carbon dynamics in a northern hardwood forest[J]. *Biogeochemistry*, 2001, 56: 215-238.
- [35] 毛志刚, 王国祥, 刘金娥, 等. 盐城海滨湿地盐沼植被对土壤碳氮分布特征的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(2): 293-297.
- [36] 谢文霞, 朱鲲鹏, 崔育倩, 等. 胶州湾河口湿地土壤有机碳及氮含量空间分布特征研究[J]. *草业学报*, 2014, 23(6): 54-60.