

# 中科院南京地理与湖泊研究所冯慕华团队揭示水华暴发对淡水沉积物有机质矿化的激发效应

Science of the Total Environment 784 (2021) 147087



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)



Algal blooms modulate organic matter remineralization in freshwater sediments: A new insight on priming effect



Yarui Wang<sup>a,b,c</sup>, Muhua Feng<sup>a,\*</sup>, Jianjun Wang<sup>a</sup>, Xinfang Chen<sup>d</sup>, Xiangchao Chen<sup>a,c</sup>, Xian Du<sup>a</sup>, Fan Xun<sup>a,c</sup>, Bryne Tendelo Ngwenya<sup>e</sup>

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147087>

## 1. 前言

淡水生态系统的富营养化已成为全球关注的重要环境问题，水华暴发不仅会释放有毒物质危害水生生态系统，还会促进藻类碎屑向沉积物-水界面的沉降。藻类碎屑的累积会提高水体中藻源性有机质（AOM）的水平，在水华导致的厌氧沉积环境中，AOM会参与并影响到沉积物有机质（SOM）的生物地球化学循环。

沉积物有机质矿化是氮磷营养盐和溶解性无机碳循环的主要驱动力，促进了湖泊生态系统的物质和能量循环，不同的矿化途径的相对强度不仅影响着微量元素生物地球化学循环，也影响着沉积物-水界面有机质的矿化和营养盐的利用及再生。

水华暴发导致的藻屑堆积会向沉积物-水界面输送大量新鲜和不稳定的有机碳，极有可能会改变本土SOM的矿化作用。较难分解的有机质矿化可能受不稳定组分或生物理化性质的分解影响，这个过程被称为“激发效应”。

为了研究藻屑堆积对SOM矿化作用的激发效应，冯慕华团队在富营养化程度较高的于桥水库采集了沉积物柱状样品，结合室内培养实验、袋式培养实验以及Picarro-在线培养系统(CS-RECO1000, Cen-Sun, China), 开展了深入的研究。

## 2. 材料与方法

### 2.1 实验样品的采集

天津市于桥水库湖心区沉积柱样品（30 cm × 9），同时采集同一位置的底层水样25 L。

### 2.2 藻屑堆积过程模拟：

#### 2.2.1 实验组设置

对照组（无藻屑添加），×1倍组（藻屑添加浓度：6 g/m<sup>2</sup>），×20倍组（藻屑添加浓度：120 g/m<sup>2</sup>），分别代表无水华，水华常规发生以及水华严重暴发三种情形（图1a）。每个组别设置3个平行实验。

### 2.2.2 培养条件

温度设置为16 ± 1°C，避光培养。

### 2.2.3 取样

在给定的时间间隔内，沉积物-水界面以上10 mm采集10 mL水样，过0.45 μm滤膜待测。

## 2.3 藻屑堆积对沉积物-水界面营养盐释放的影响

$$v = k \cdot V / A$$

式中，*v*代表溶解性物质（NH<sub>4</sub><sup>+</sup>，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，O<sub>2</sub>）的释放通量（mmol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>），*k*是NH<sub>4</sub><sup>+</sup>和NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度随时间变化的线性系数（mmol d<sup>-1</sup>），*V*是上覆水的体积（L），*A*是沉积物-水界面的面积（m<sup>2</sup>）。

## 2.4 藻屑堆积对沉积物有机质矿化途径的影响

培养结束后，在氮气保护下，将沉积物柱状样分层，表层4 cm沉积物每1 cm切样，4-8 cm沉积物每2 cm切样。利用袋式厌氧培养法测定有机质不同矿化过程的速率（图1b）。将沉积物切片置于充满氮气的气密袋中培养，培养条件为原位温度 16 ± 1 °C，避光培养，取样时间为1 d，10 d，17 d，29 d和42 d。有机质不同矿化过程的速率包括：沉积物有机质总的矿化速率，反硝化速率，铁还原速率，硫酸盐还原速率，甲烷化速率。

## 2.5 激发效应研究

### 2.5.1 带<sup>13</sup>C标记的铜绿微囊藻制备

利用含<sup>13</sup>C（30%）的BG11培养基对微囊藻培养，成熟后，离心收集，冷冻干燥，置于-20°C保存，即为<sup>13</sup>C标记的微囊藻屑。

### 2.5.2 激发效应实验设计

设置三个实验组，即对照组（无藻屑添加）、×1倍组（藻屑添加浓度：6 g/m<sup>2</sup>），×20倍组（藻屑添加浓度：120 g/m<sup>2</sup>）。每组实验中沉积物添加量为100 mL，底层水添加量为300 mL，通入高纯氮20 min制造厌氧环境。培养温度为16 ± 1°C，实时调控培养体系的pH和DO浓度，每个培养瓶与Picarro G2201-i相连接，用于实时测定CH<sub>4</sub>和CO<sub>2</sub>的浓度以及δ<sup>13</sup>C-CH<sub>4</sub>和δ<sup>13</sup>C-CO<sub>2</sub>稳定同位素值。每隔0，1，3，7，14和17天采集表层水样，经0.45 μm滤膜过滤，用于测定DIC和Fe<sup>2+</sup>的浓度以及DIδ<sup>13</sup>C的稳定同位素值。

### 2.5.3 CH<sub>4</sub>和CO<sub>2</sub>的测定：Picarro-在线培养系统(CS-RECO1000, Cen-Sun, China)

利用自动采样器每隔5分钟采集样品，实时测定样品CH<sub>4</sub>和CO<sub>2</sub>的浓度以及δ

$^{13}\text{C}\text{-CH}_4$ 和 $\delta^{13}\text{C}\text{-CO}_2$ 稳定同位素值 (图1c)。Picarro G2201-i  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ 同位素分析仪可以在保证精度的条件下,同时测定以上项目。

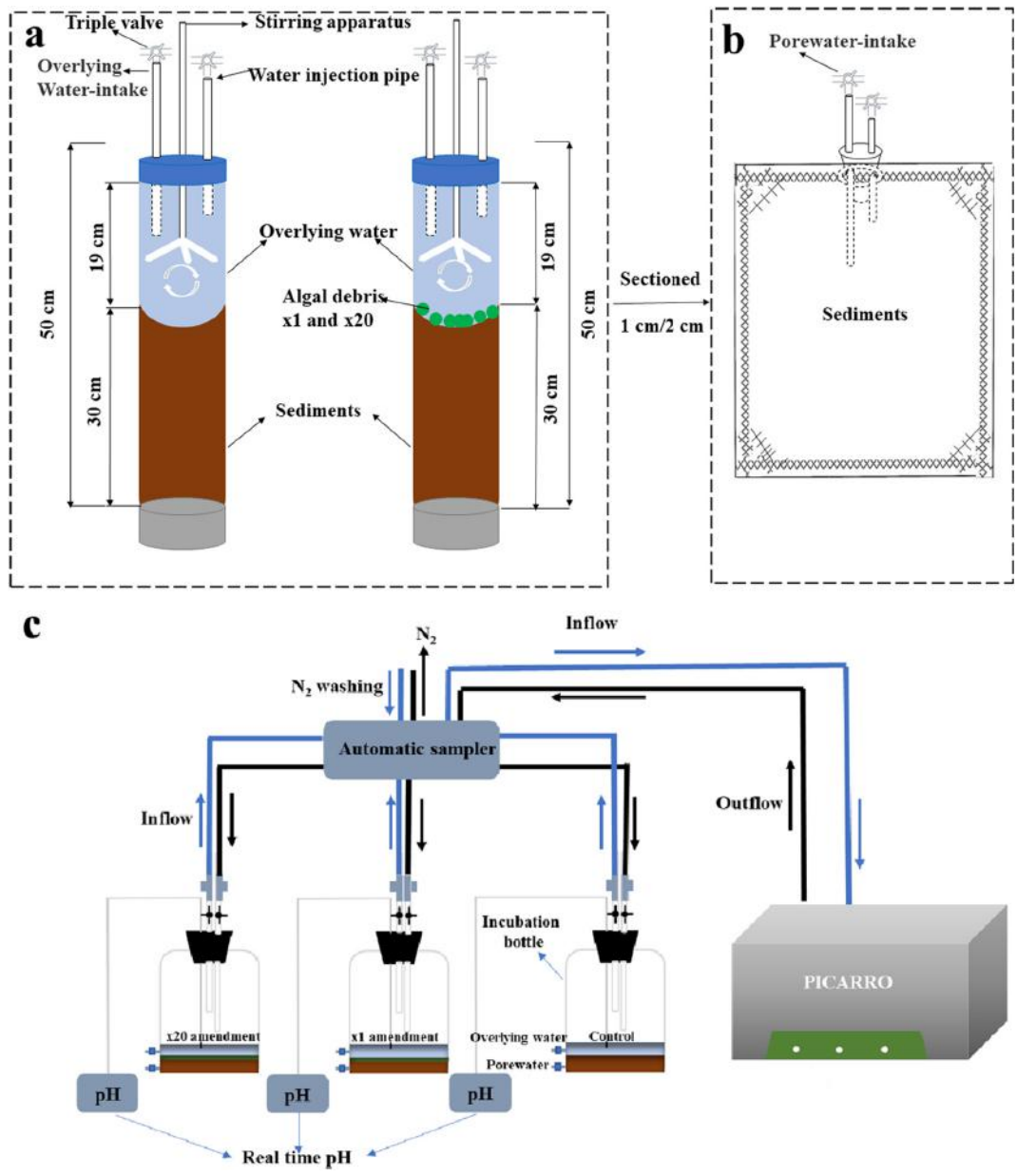


Fig. 1

实验装置示意图: (a) 沉积柱的培育; (b) 袋式厌氧培养法; (c) Picarro-在线培养系统 (CS-RECO1000, Cen-Sun, China)

### 3 实验结果

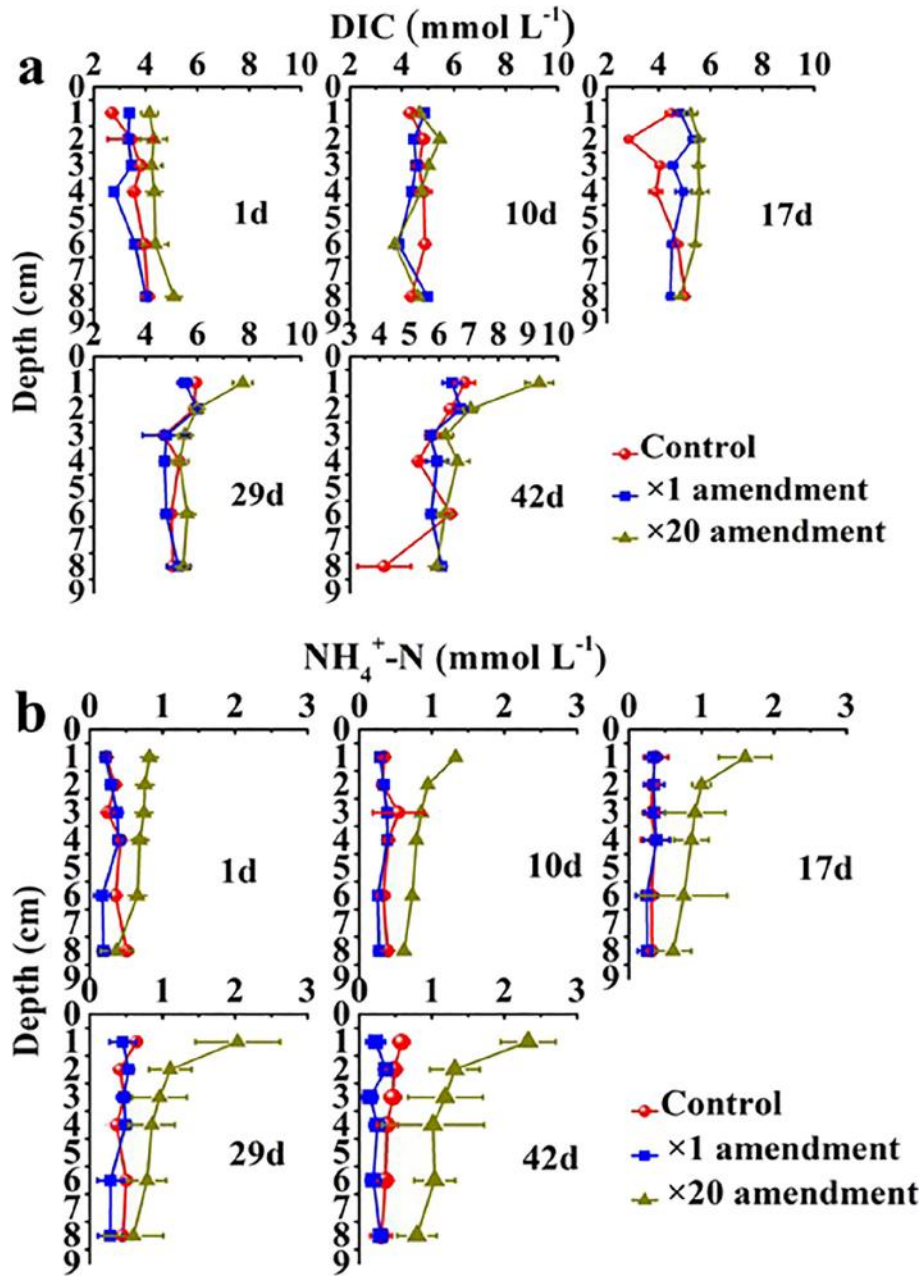


Fig. 2 藻屑堆积过程中DIC (a) 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (b) 在沉积物间隙水中的垂直分布

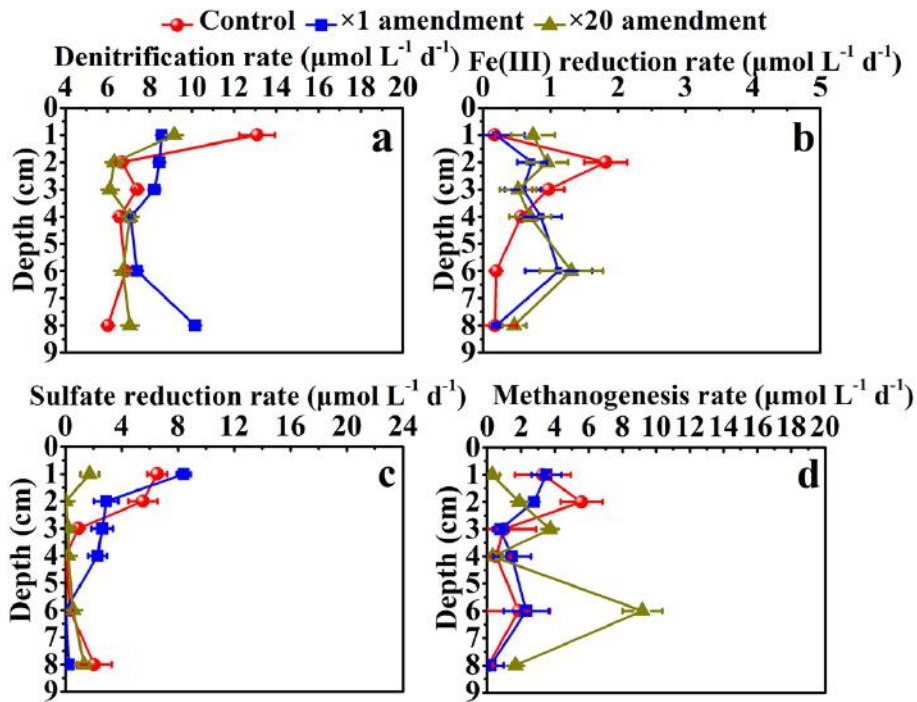


Fig. 3

袋式厌氧培养过程中不同实验组有机质反硝化速率 (a)、铁还原速率 (b)、硫酸盐还原速率 (c) 和甲烷化速率 (d) 的垂直分布

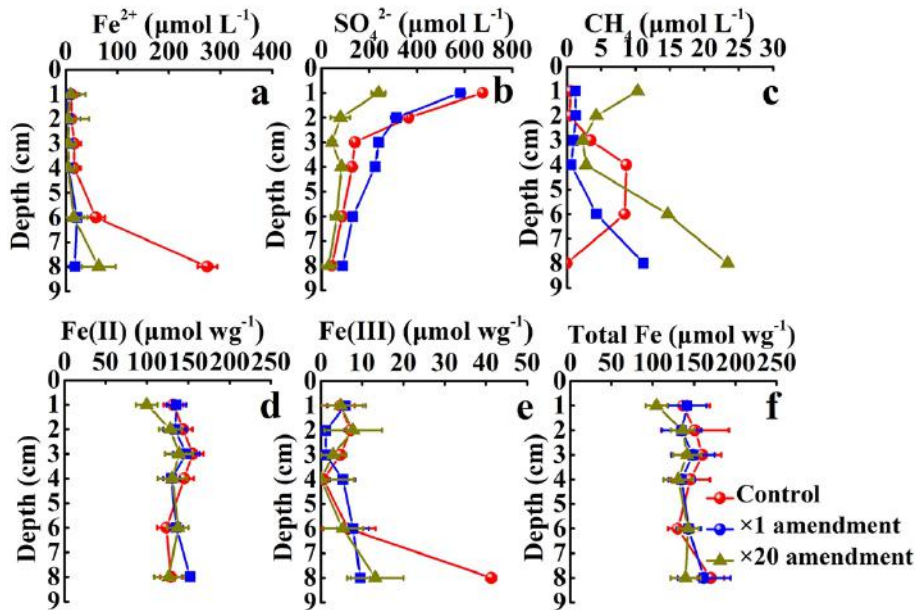


Fig. 4

袋式厌氧培养初始阶段不同实验组化合物在间隙水和沉积物中的垂直分布 (a) 间隙水中 $\text{Fe}^{2+}$ 浓度; (b) 间隙水中 $\text{SO}_4^{2-}$ 浓度; (c) 间隙水中 $\text{CH}_4$ 浓度; (d) 沉积物中Fe(II)浓度; (e) 沉积物中Fe(III)浓度; (f) 沉积物中总Fe浓度

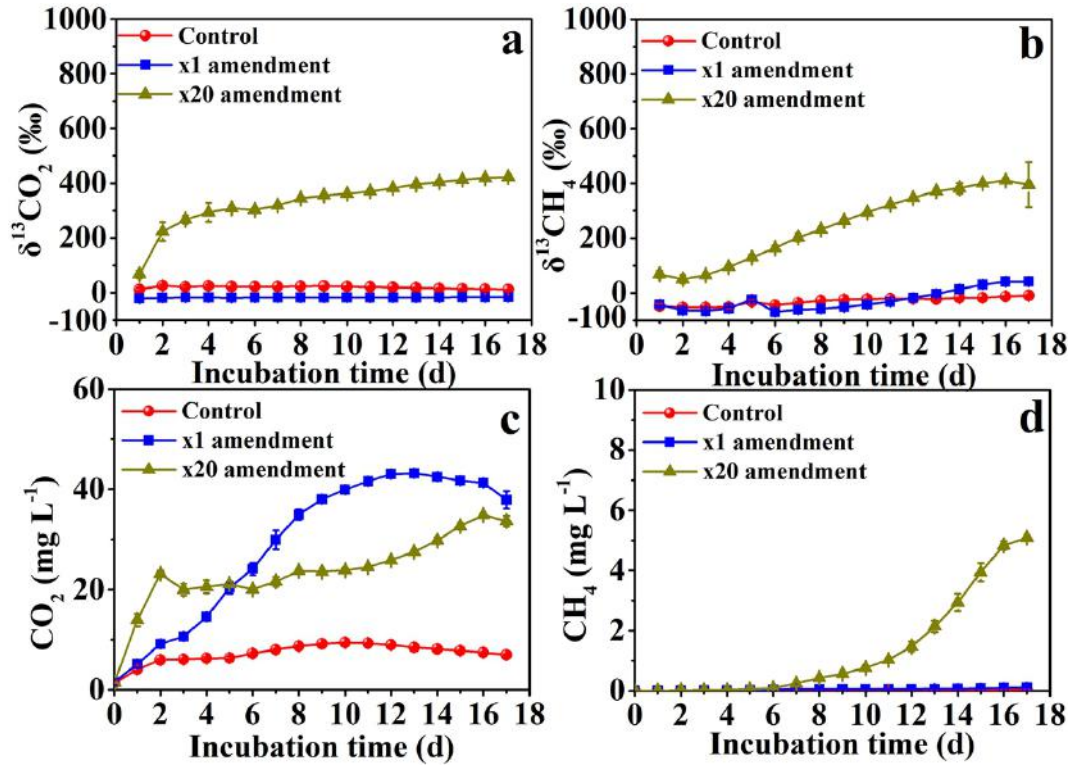


Fig. 5 激发效应实验中 (a)  $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$  随时间的动态变化; (b)  $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$  随时间的动态变化; (c)  $\text{CO}_2$  浓度的变化; (d)  $\text{CH}_4$  浓度的变化

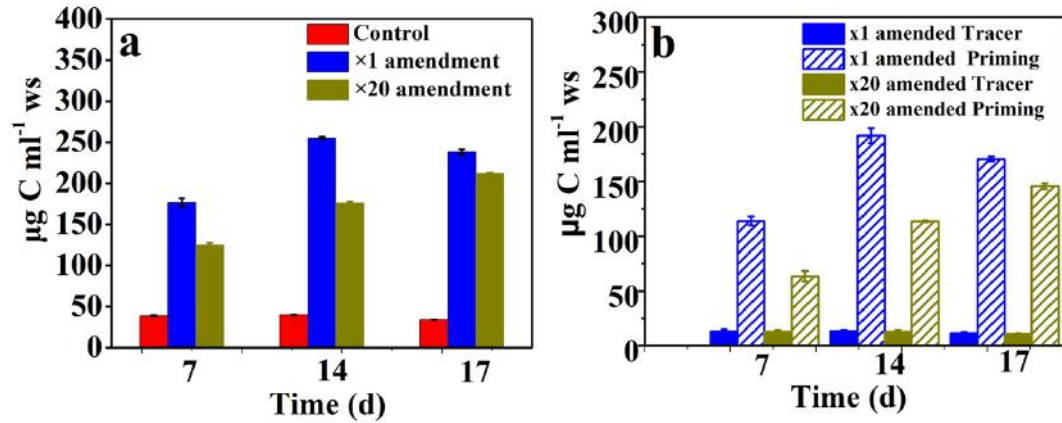


Fig. 6

激发效应实验中经7天, 14天和17天培养后 (a) 不同实验组中被矿化的有机质总量; (b) 去除对照组本底值,  $\times 1$ 倍组与 $\times 20$ 倍组中示踪性藻源有机质与沉积物有机质的 $\Sigma\text{CO}_2$ 释放通量对比

## 4 结论

冯慕华团队采用室内柱状沉积物培养实验、袋式培养实验以及Picarro-在线培养系统(CS-RECO1000, Cen-Sun, China), 研究了不同程度蓝藻水华时藻屑堆积对沉积物有机质矿化的激发效应。

常规水华发生时, 藻屑堆积并未对沉积物中DIC和营养盐释放造成显著影响, 而水华严重暴发时, 藻屑堆积将显著改变沉积物生物理化性状, 增大污染物释放潜力。

高密度藻屑堆积, 可显著影响元素赋存状态及沉积物地球化学循环。有机碎屑长期堆积后, 可导致 $\Sigma\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ 的释放。反硝化作用是沉积物有机质矿化的主导途径。

碳稳定同位素分析结果表明, 藻屑堆积会对沉积物有机质产生激发效应, 促进SOM矿化, 同时释放营养元素, 加重水体富营养化。

论文链接:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721021574?via%3Dihub>

**如果希望进一步了解本文涉及的仪器信息, 欢迎与我们联系讨论:**

Email: [james@cen-sun.com](mailto:james@cen-sun.com) 或 [chenxf@cen-sun.com](mailto:chenxf@cen-sun.com)

Phone: +86-15205149997 或 +86-18969955870