

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

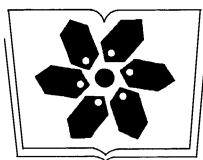
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第18期 Vol.31 No.18 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 18 期 2011 年 9 月 (半月刊)

目 次

高寒矮嵩草草甸冬季 CO ₂ 释放特征	吴 琴, 胡启武, 曹广民, 等 (5107)
开垦对绿洲农田碳氮累积及其与作物产量关系的影响	黄彩变, 曾凡江, 雷加强, 等 (5113)
施氮对几种草地植物生物量及其分配的影响	祁 瑜, 黄永梅, 王 艳, 等 (5121)
浙江天台山甜槠种群遗传结构的时空自相关分析	祁彩虹, 金则新, 李钧敏 (5130)
大兴安岭林区不同植被对冻土地温的影响	常晓丽, 金会军, 于少鹏, 等 (5138)
樟子松树轮不同组分的稳定碳同位素分析	商志远, 王 建, 崔明星, 等 (5148)
内蒙古不同类型草地叶面积指数遥感估算	柳艺博, 居为民, 朱高龙, 等 (5159)
杭州西湖北里湖荷叶枯落物分解及其对水环境的影响	史 绮, 焦 锋, 陈 莹, 等 (5171)
火干扰对小兴安岭落叶松-苔草沼泽温室气体排放的影响	于丽丽, 牟长城, 顾 韩, 等 (5180)
黄河中游连伯滩湿地景观格局变化	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (5192)
黄土区次生植被恢复对土壤有机碳官能团的影响	李 婷, 赵世伟, 张 扬, 等 (5199)
我国东北土壤有机碳、无机碳含量与土壤理化性质的相关性	祖元刚, 李 冉, 王文杰, 等 (5207)
黄土旱塬裸地土壤呼吸特征及其影响因子	高会议, 郭胜利, 刘文兆 (5217)
宁南山区典型植物根际与非根际土壤微生物功能多样性	安韶山, 李国辉, 陈利顶 (5225)
岩溶山区和石漠化区表土孢粉组合的差异性——以重庆市南川区为例	郝秀东, 欧阳绪红, 谢世友 (5235)
夏蜡梅及其主要伴生种叶的灰分含量和热值	金则新, 李钧敏, 马金娥 (5246)
苏柳 172 和垂柳对 Cu ²⁺ 的吸收特性及有机酸影响	陈彩虹, 刘治昆, 陈光才, 等 (5255)
导入 <i>TaNHX2</i> 基因提高了转基因普那菊苣的耐盐性	张丽君, 程林梅, 杜建中, 等 (5264)
空气湿度与土壤水分胁迫对紫花苜蓿叶表皮蜡质特性的影响	郭彦军, 倪 郁, 郭芸江, 等 (5273)
黄土高原旱塬区土壤贮水量对冬小麦产量的影响	邓振镛, 张 强, 王 强, 等 (5281)
咸阳地区近年苹果林地土壤含水量动态变化	赵景波, 周 旗, 陈宝群, 等 (5291)
苗药大果木姜子挥发油成分变化及其地理分布	张小波, 周 涛, 郭兰萍, 等 (5299)
环境因子对小球藻生长的影响及高产油培养条件的优化	丁彦聪, 高 群, 刘家尧, 等 (5307)
不同基质对北草蜥和中国石龙子运动表现的影响	林植华, 樊晓丽, 雷焕宗, 等 (5316)
安徽沿江浅水湖泊越冬水鸟群落的集团结构	陈锦云, 周立志 (5323)
黑胸散白蚁肠道共生锐滴虫目鞭毛虫的多样性分析与原位杂交鉴定	陈 文, 石 玉, 彭建新, 等 (5332)
基于熵权的珠江三角洲自然保护区综合评价	张林英, 徐颂军 (5341)
专论与综述	
中小尺度生态用地规划方法	荣冰凌, 李 栋, 谢映霞 (5351)
土地利用变化对土壤有机碳的影响研究进展	陈 朝, 吕昌河, 范 兰, 等 (5358)
海洋浮游植物与生物碳汇	孙 军 (5372)
多年冻土退化对湿地甲烷排放的影响研究进展	孙晓新, 宋长春, 王宪伟, 等 (5379)
生源要素有效性及生物因子对湿地土壤碳矿化的影响	张林海, 曾从盛, 仝 川 (5387)
生态网络分析方法研究综述	李中才, 徐俊艳, 吴昌友, 等 (5396)
研究简报	
不同群落中米氏冰草和羊草的年龄结构动态	金晓明, 艾 琳, 刘及东, 等 (5406)
主题分辨率对 NDVI 空间格局的影响	黄彩霞, 李小梅, 沙晋明 (5414)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-09



封面图说: 在树上嬉戏的大熊猫——大熊猫是中国的国宝, 自然分布狭窄, 数量极少, 世界上仅分布在中国的四川、陕西、甘肃三省的部分地区, 属第四纪冰川孑遗物种, 异常珍贵。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录, 濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。瞧, 够得上“功夫熊猫”吧。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

孙军. 海洋浮游植物与生物碳汇. 生态学报, 2011, 31(18): 5372-5378.

Sun J. Marine phytoplankton and biological carbon sink. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(18): 5372-5378.

海洋浮游植物与生物碳汇

孙 军*

(天津科技大学海洋科学与工程学院, 天津 300457)

摘要: 系统描述了浮游植物与海洋碳汇相关的几个过程: 初级生产、浮游植物沉降、浮游动物粪球打包沉降、经典食物链碳汇、溶解有机碳生产和转化、透明胞外聚合颗粒物 (TEP) 凝聚网, 和 CO_2 分压升高 (海水酸化) 影响下浮游植物功能群转变及中国海可能的生物碳汇前景展望。提出海洋初级生产过程和 TEP 凝聚网过程是中国海生物碳汇的关键过程, 而中国海的黄海中部及长江口区域是生物碳汇研究的重点区域, 建议将硅藻及其碳汇过程作为今后研究的重点。

关键词: 生物碳汇; 浮游植物; 功能群; 透明胞外聚合颗粒物; 海水酸化

Marine phytoplankton and biological carbon sink

SUN Jun*

(College of Marine Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: In this paper, we examined key processes for evaluating biological carbon sink in relation to marine phytoplankton in the China Sea. Current phytoplankton carbon-sink-related processes are discussed, including primary production, phytoplankton sinking, zooplankton fecal pellet package effects, the marine food chain, phytoplankton dissolved organic carbon production and subsequent bacterial repackaging, transparent exopolymer particles (TEP), and changes in phytoplankton functional groups under projected rising $p\text{CO}_2$. Marine primary production and the TEP aggregation web are specifically examined. Key regional study areas in China, such as the central Yellow Sea and the Yangtze River estuary, are also discussed, as well as suggestions for future biological carbon sink studies in China using diatoms, a keystone functional group.

Key Words: biological carbon sink; phytoplankton; functional group; transparent exopolymer particles (TEP); ocean acidification

海水中的浮游植物是随波逐流的单细胞藻类, 是海洋中最主要的初级生产者, 在全球尺度上影响着海洋碳循环, 它们尽管只占地球生物圈初级生产者生物量的 0.2%, 却提供了地球近 50% 的初级生产量。它们生长迅速, 支撑了海洋中从浮游动物到鲸鱼的庞杂食物链, 为人类提供了一个生物多样性的世界和巨大的食物来源。浮游植物通过光合作用, 吸收 CO_2 释放氧气, 从根本上改变着人类的生存环境。

在当今全球 CO_2 分压升高的情况下, 浮游植物及其相关过程对碳汇的作用是显著的。究其原因主要是因为浮游植物具有 3 个特征: (1) 在地球生态系统分布广泛和数量巨大, 是海洋生物碳库的主要组成部分; (2) 浮游植物通过光合作用直接利用 CO_2 , 将其转变为有机物; (3) 浮游植物是海水中最大量的颗粒物, 从海洋能学和动力学的角度改变全球气候, 进而影响碳汇^[1]。

基金项目: 国家基础研究与重点项目 (2009CB421202); 国家海洋局公益项目 (201105021-03); 自然科学基金项目 (40776093, 40676089, 40306025)

收稿日期: 2011-01-15; **修订日期:** 2011-06-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: phytoplankton@163.com

cycle)^[8]。最近对具有光合作用能力的海蛤蚧 (*Elysia chlorotica*) 的研究有可能阐明固碳机制的第 7 条途径。

浮游植物是海洋初级生产过程的主要执行者,海洋浮游植物绝大多数是 C3 植物,进行卡文-本松循环,也有少数的浮游植物属于 C4 植物^[9],多数研究者认为这种 C4 机制会更有效地利用海水中的 CO₂,尤其是在低 CO₂ 浓度的海水中^[10-11]。

全球初级生产力的估算存在很多困难,但是根据卫星遥感归一化差异植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index) 的估算结果,海洋的年平均初级生产力为 140 g C·m⁻²·a⁻¹,年初级生产量为 48.5 Gt C/a,占整个地球表面初级生产量的 46.2%^[12]。

相对于陆地植物来说,海洋浮游植物初级生产力略低,但是从碳汇的角度来看尤显重要:①浮游植物具有高速的增殖能力,通常浮游植物的生长率要远远高于陆地植物,甚至是其生长率的 10⁵ 倍^[13];②海洋浮游植物固定的碳尽管只有少数以有机碎屑的形式保留在深海和沉积物中,但其循环周期达百万年,远远大于陆地植物几十年的循环周期^[14]。

2 浮游植物沉降

浮游植物生长过程中,自身积累蛋白质、核酸、脂类和多糖等颗粒有机碳,由于浮游植物细胞有机质密度大于海水密度,因此会最终死亡沉降到海底,在这个过程中有机碳也随之沉降,形成碳汇。但是活的、小细胞的和具有游动能力的浮游植物却是很难沉降,这主要是由于浮游植物生存需要进行光合作用,而光在表层水体中最强,浮游植物通过各种机制以抵御下沉。活的浮游植物通过改变细胞组成增加油滴比例,形成可以调节的液泡,鞭毛/纤毛的游动,细胞表面增加翼、角和刺等突出物等方式悬浮/上浮与海水表层,海水中也存在各种尺度的扰动,这些扰动也在一定程度上帮助浮游植物阻止下沉。这两种下沉和上浮的拮抗机制中,浮游植物主动上浮和被动下沉机制的相对强弱,在很大程度上影响着生物碳汇。

浮游植物死亡细胞沉降的速度对于碳汇也是一个很重要的因素。快速的沉降过程是碳汇的主要途径,而慢速的沉降会导致死亡的浮游植物很快被细菌裂解、降解成为溶解有机物或 CO₂ 释放达到水体中,这样碳只会停留在上层水体中,参与到碳的溶解泵过程中,对于碳汇没有贡献。

根据斯托克斯定律: $v = [2 \times g \times (\rho - \rho_0) \times r^2] / (9 \times \eta)$, (式中 v 为粒子的沉降速度, ρ 和 ρ_0 分别为球形粒子与介质的密度, r 为粒子的半径, η 为介质的黏度, g 为重力加速度), 颗粒物的沉降速率(v) 和颗粒粒径(r) 成正比,与颗粒物密度(ρ) 成正比。因此小粒径的浮游植物很难沉降,而海洋中占大多数面积的热带大洋是缺乏营养盐的寡营养海域,其中优势的浮游植物类群往往是细胞体积微小的超微型浮游植物。因此,一般认为这些区域是海洋碳汇的弱区,甚至是碳源区。但是也有研究表明这些微小的浮游植物也能通过各种方式沉降^[15] 或融入到经典食物链中^[16],最终沉积到海底,形成对生物碳汇的贡献。

在浮游植物众多类群中有两类对生物碳汇具有重要影响的类群,分别是硅藻和颗石藻。硅藻是外壳由二氧化硅 (SiO₂) 组成的盒型细胞,其 SiO₂ 外壳是很规则的,中心目是圆形的,而羽纹目是拉长的两侧对称的。硅藻有些物种形成链,许多有刺或增加细胞表面积以阻止被捕食。硅藻多分布在近岸和极地等高营养区域,例如南大洋和北太平洋,是这些水体中主要初级生产者。由于 SiO₂ (2.634 g/cm³) 比较难溶于水,同时其密度比海水高,因此硅藻可以快速沉降,形成高的生物碳汇。如果沉积物中硅藻壳超过 30% 以上,则称为硅藻软泥,这些硅藻软泥区是海洋生物碳汇高的区域^[17]。颗石藻通过钙化作用产生覆盖于细胞壁表面的碳酸钙的颗石粒,它们通常很小,同硅藻一样, CaCO₃ 密度比海水高 (2.7 g/cm³), 当颗石藻死亡后可以快速沉降到沉积物中,形成 POC 的碳汇。但是,颗石藻由于细胞壁沉积 CaCO₃ 因此具有独特的碳酸盐反向泵功能,这一过程与初级生产过程刚好相反,通过钙化作用,将海水中碳酸氢根转化为 CO₂, 用方程式表示:



是对 CO₂ 的一个释放过程。初级生产和钙化作用这两个相反的过程可以决定颗石藻对海洋表层 CO₂ 是碳汇还是碳源,这通常可用雨率 (在输出真光层的生源颗粒物中无机碳和有机碳的比率, 雨率 = PIC/POC = CaCO₃/C_{org}) 来表示^[18-19]。

由此可见不同类群的浮游植物其生物碳汇的效率是不一样的,因此有研究者认为如果人们通过改变浮游植物的生长环境或浮游植物群落结构的话,也可以提高生物碳汇的效率,这未尝不可。其中一个比较有名的例子就是大洋施铁试验。基于海水中铁浓度很低而又对浮游植物生长很重要,因此在水体中加入少量的铁就可以诱使体系中大量的碳和其他营养盐被浮游植物所吸收,进而增加海洋的初级生产力及后续的生物泵过程。自 1993 年来共进行了约 13 次不同规模的原位大洋施铁试验,但其 CO_2 固存效力尚不确定,一方面是由于这些实验选择的地点出现硅酸盐的限制作用,对海洋碳汇最有效的硅藻并未旺发,另一方面对于施铁试验还有很多未知的生态后果,因此这方面的研究还有很长的路要走^[20]。但是作为人类可以干预或局部改变海洋环境的有效途径,人为的生物泵调节增加生物碳汇是有前景的。

3 浮游动物粪球沉降

另外一条和浮游植物密切相关的生物碳汇过程就是经过浮游动物摄食后产生的粪球沉降过程。浮游动物粪球是动物排出体外的粪便颗粒,有不同的形状、大小、颜色和组成。他们通过直接沉降的方式与海雪一起沉降到海底,增加生物碳汇,也可以通过释放 DOC 的方式改变水体 DOC 的垂直分布,同时也是海洋弱光层(twilight zone)或以下细菌和某些浮游动物的重要食物来源。

浮游动物粪球的碳汇过程是全年持续的过程,这点是有别于浮游植物沉降碳汇过程的,后者具有很明显的季节性。浮游动物粪球碳汇效率决定于粪球的生产速率、有机组成、沉降速率、浮游动物群落组成和粪球的降解速率等因素,他们对 POC 沉降的贡献率变异较大,在 1%—100% 之间。粪球的生产率、大小、密度和碳组成决定于浮游动物的食物——浮游植物。一般来说,如果浮游植物生物量高会导致粪球的高生产率、大的粒径和高比例的碳组成。粪球组成中高的碳和氮含量是由于浮游动物粪球在肠道中存留时间短,动物还来不及彻底消化吞噬到体内的食物而产生的。这种情况下形成的粪球中还有相当比例的可食性浮游植物和非彻底降解产物,以供其他的浮游动物或细菌作为食物来源。粪球的大小和组成还决定于浮游植物的类型,浮游动物吞食具有硬壳的浮游植物(如硅藻和颗石藻)后,其粪球就大,密度高,具有更高的生物碳汇效率,反之如果浮游动物吞食的是无硬壳的浮游植物,则其粪球直径较小,密度低。绝大多数浮游动物是杂食性的,既食浮游植物,也食浮游动物,但是个别的浮游动物类群只以海雪和被囊动物幼虫的房体为食。

粪球的归宿一般并非人们想象中那样会很快沉降到海底,而是被很快崩解和分解了,但是也有少数会结合海水中胶态有机物形成大的海雪而沉降至海底。不同的浮游动物也会摄食粪球,导致粪球的崩解和降解。大的浮游动物会吞食小的粪球,这一过程称为“食粪性”;有些浮游动物摄食粪球表面的围食膜或其上的微生物,称为“清粪性”;还有些浮游动物并不直接吞食粪球,但可以用肢体将粪球破碎,称为“裂粪性”。这些过程都会减缓生物碳汇过程,但是最终这些粪球都会结合到海雪中,或者本身形成海雪的核心,沉降到海底。

大粒径的粪球对生物碳汇的贡献不一定就比小粒径的要高,最近关于微型浮游动物的小粪球的研究表明小粒径的粪球其通量更高,对碳汇的贡献更大^[21]。

4 经典食物链碳汇

浮游植物的另外一条重要碳汇途径就是通过食物链向渔业资源生物传递,这部分碳被捕捞或收获移出海洋体系后,其实质也是生物碳汇。浮游植物与经典食物链之间的关系很好理解。生态系统中,生物通过一系列摄食与被摄食的关系紧密地联系起来,这种生物之间以食物营养关系彼此联系起来的序列,在生态学上被称为食物链。浮游植物是海洋生态系统的生产者,所有的初级消费者(例如浮游动物、食草鱼类和其他食草生物等)以及次级/顶级消费者(例如食肉鱼类、海洋哺乳类和鸟类等)都是直接或间接以浮游植物为食物来源的。海洋食物链的长度取决于生态系统的复杂程度,通常会在营养阶层之间彼此交错联结,形成的复杂网状关系,又称为食物网。

浮游植物固定的碳在食物链/食物网之间传递的同时会有一部分碳以生物呼吸的形式被氧化为 CO_2 重新释放到周围环境中,这就是食物链的物质传递效率。通常教科书上认为植物到初级消费者之间和初级消费者到次级消费者之间,碳在食物链每向上传递一级就会损失 90%,而只在更上一个营养级上保留 10%,又称为

林德曼效率(百分之十定律)。其实,在海洋生态系统中这个定律是不准确的,浮游植物到浮游动物之间的转换效率往往要高于 10%,这和浮游植物与浮游动物的快速生长繁殖机制相关,能量的转换效率是和不同营养阶层及特定物种密切相关的^[22]。因此海洋生物学家还有很多的工作去做,以厘清不同海区中各生态系统的食物链/食物网关系,测定各食物链营养阶层之间的碳转换效率,最终获得准确的从浮游植物到渔业资源之间的碳转换效率。这样才能正确评估海洋中的渔业碳汇。

5 浮游植物、溶解有机碳与碳汇

前文提到过浮游植物在向浮游动物、食草动物、食肉动物、顶级食肉动物层层传递碳的同时,有相当的碳是以呼吸的形式转化为 CO_2 重新释放到水体中。这同时还有一个很重要的过程,即溶解有机碳(DOC)过程,DOC 被分解者(细菌)呼吸转化为 CO_2 ,也会重新释放到水体中。

水体中生源溶解有机碳有几个来源:①浮游植物光合作用过程中有相当的有机碳是以溶解态的形式释放到水体中,称其为光合溶解有机碳(PDOC, photosynthetic dissolved organic carbon)生产^[23]。这是由于浮游植物缺乏必要的营养盐或受到光强过高和过低的影响,处于非平衡生长状态,导致光合作用产生的有机碳不是全部变成植物生长必须的蛋白质,而是会将过多的光合产物 PDOC 释放出细胞来;②细菌裂解浮游植物使细胞内 DOC 释放到水体中;③细菌被噬菌体裂解从细胞内释放出 DOC;④各种动物在生理过程中向周围水体释放的 DOC;⑤浮游动物或次级消费者在摄食过程中的邈邈摄食,这种摄食过程是这样的,动物在破碎植物细胞或其他动物细胞时,细胞质裂解,胞内的 DOC 释放到水体中;⑥海水中的 POC 通过物理-化学溶解或微生物加工过程,形成新的较难重新分解为 CO_2 的耐降解溶解有机碳^[24-25]。

最近细菌在 DOC 降解过程和碳循环中的概念又被再一次更新,新近研究指出,细菌对 DOC 的加工利用过程中产生的惰性溶解有机碳(RDOC, Recalcitrant dissolved organic carbon)可以在海洋水体中长期储存,构成了海洋生物储碳/碳汇的一个重要机制,被称为“微型生物碳泵”^[26]。

但是无论如何,海洋中主要来源于浮游植物的 DOC 最终只有两个归宿:①会被细菌降解为 CO_2 重新释放到大气中,这是一个碳源的过程,是碳汇的逆过程;②或被打包成为胶体,再进一步转化为颗粒物沉降到海底,这是一个碳汇过程,下面仔细了解一下这个过程。

6 TEP 凝聚网

海洋中的浮游植物会产生透明胞外聚合颗粒物(TEP),它是一种胶状的颗粒物既具有颗粒物的特性可以沉降,又具有胶体的特性可以聚集,具有恒定的体积质量比。它又不同于有机体颗粒物,可以具有不同的 C:N:P 比例。TEP 可以通过凝集作用使溶解有机物、细菌、微型鞭毛藻、浮游植物等形成凝聚体,这些凝聚体可以直接被原生动、中型和大型浮游动物、鱼类或其他海洋动物所摄食,将食物链的途径缩短,并与微食物环和经典食物链相连。由 TEP 连接的凝聚体在沉降过程中形成了海洋中碳垂直通量的另外一条重要途径。它在凝聚过程中可以吸附周围的溶解有机物和黏着其他颗粒物而沉降,其 C:N 的比率远远高于 Redfield 比率,所以会有更多的碳随着 TEP 而沉降入深海。可以看出所有海洋不同水层的颗粒物最后的聚集沉降都有 TEP 的参与,它也是最终的碳汇形式,因此这一过程对生物碳汇具有最直接和重要的贡献^[27-28]。

7 全球 CO_2 分压升高下的中国海浮游植物生物碳汇改变

综上所述,浮游植物对生物碳汇贡献最主要和重要的过程是初级生产过程以及 TEP-海雪相关的凝聚网沉降过程。浮游植物相关的碳汇必然和不同浮游植物功能群关联,而不同浮游植物功能群的区分则主要同其对生源要素的吸收和元素的生物地球化学过程(也即元素循环)紧密相连。浮游植物的分布模式是“全球分布,区域选择性旺发”,因此 CO_2 分压升高造成的全球海洋生源要素分布和循环模式的改变,则会深刻影响不同功能群浮游植物的分布及其生物碳汇过程,也就会影响区域海洋和全球的碳循环。

中国海处于西北太平洋的边缘,除了东海少部分区域和南海中部是典型的开阔大洋海之外,渤、黄、东海的大部分海域属于近岸和陆架区域,长江口和珠江口的河口区也是影响周边海洋生态系统的重要区域。浮游植物的多样性和群落结构在北方各中国海区相对简单,以硅藻、甲藻为主,常会在长江口和黄海中部发生优势

种明显的春季水华,可能会形成中国重要的碳汇区;而在南海则多样性较高,各浮游植物功能群齐全,但是生产力较低,由于温度较高,物理泵作用明显,南中国海可能是 CO_2 的弱“源”区。

根据最近的研究结果,全球 CO_2 分压升高对海洋元素循环影响最大的是氮(N)元素, CO_2 分压的升高可以促进固氮作用,抑制硝化和反硝化作用,这将导致更多的新生氮进入海洋体系,某种意义上会为海洋中提供更多的新生产力,同样也增加了更多的输出生产力的可能^[29]。 CO_2 分压升高对磷(P)循环和硅(Si)循环的研究则相对较少,初步的研究结果表明 CO_2 分压升高对 P 和 Si 循环没有太多影响^[29]。另外,还有研究表明, CO_2 分压升高下 TEP 由于酸化作用影响,变得蓬松,与 TEP 相关联的海洋凝聚网碳汇过程将减弱,这将加剧大气 CO_2 分压的升高和海洋酸化过程^[30]。因此大胆作如下预测: CO_2 分压升高对中国海 N 循环造成较大影响,海洋的新生产会增加,而沉降过程一定程度上减弱,势必造成有多余的 NH_4 ,使得那些嗜铵的浮游植物物种如骨条藻(*Skeletonema*)会大大增加,由于蓝藻固氮作用的增强,会加剧这些物种的快速生长,这时浮游动物和鱼类还来不及消耗掉这一快速的初级生产,因此这种初级生产形式向渔业的碳汇效率会减弱,这些藻最终会大量死亡、沉降,进一步导致近岸大面积低氧或缺氧现象的发生。

以上分析仅仅是一种推断和假设, CO_2 分压升高后中国海的生物碳汇过程究竟会如何响应?很多问题有待于进一步实验、研究和厘清。综上分析,建议将研究区域集中在碳汇最明显的黄海中部和长江口区域,尤其是春季。同时鉴于硅藻是中国近海浮游植物分布最广、丰度最高的类群,而且是生物沉降及 TEP 凝聚网过程中对碳汇贡献最大的类群,可以将中国海生物碳汇今后的研究重点锁定在硅藻的碳汇过程上来。

致谢:冯媛媛对写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Dewar W K, Bingham R J, Iverson R L, Nowacek D P, St Laurent L C, Wiebe P H. Does the marine biosphere mix the ocean? *Journal of Marine Research*, 2006, 64(4): 541-561.
- [2] IPCC. IPCC Fourth Assessment Report-AR4-Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 1-996.
- [3] Lefebvre S, Lawson T, Fryer M, Zakhleniuk O V, Lloyd J C, Raines C A. Increased sedoheptulose-1, 7-bisphosphatase activity in transgenic tobacco plants stimulates photosynthesis and growth from an early stage in development. *Plant Physiology*, 2005, 138(1): 451-460.
- [4] Evans M C, Buchanan B B, Arnon D I. A new ferredoxin-dependent carbon reduction cycle in a photosynthetic bacterium. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1966, 55(4): 928-934.
- [5] Ragsdale S W, Pierce E. Acetogenesis and the wood-ljungdahl pathway of CO_2 fixation. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2008, 1784(12): 1873-1898.
- [6] Herter S, Fuchs G, Bacher A, Eisenreich W. A bicyclic autotrophic CO_2 fixation pathway in *Chloroflexus aurantiacus*. *Journal of Biological Chemistry*, 2002, 277(23): 20277-20283.
- [7] Berg I A, Kockelkorn D, Buckel W, Fuchs G. A 3-hydroxypropionate/4-hydroxybutyrate autotrophic carbon dioxide assimilation pathway in Archaea. *Science*, 2007, 318(5857): 1782-1786.
- [8] Huber H, Gallenberger M, Jahn U, Eylert E, Berg I A, Kockelkorn D, Eisenreich W, Fuchs G. A dicarboxylate/4-hydroxybutyrate autotrophic carbon assimilation cycle in the hyperthermophilic Archaeum *Ignicoccus hospitalis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(22): 7851-7856.
- [9] Descolas-Gros C, Fontugne M R. Carbon fixation in marine phytoplankton: carboxylase activities and stable carbon-isotope ratios; physiological and paleoclimatological aspects. *Marine Biology*, 1985, 87(1): 1-6.
- [10] Reinfelder J R, Milligan A J, Morel F M M. The role of the C_4 pathway in carbon accumulation and fixation in a marine diatom. *Plant Physiology*, 2004, 135(4): 2106-2111.
- [11] Reinfelder J R, Kraepiel A M L, Morel F M M. Unicellular C_4 photosynthesis in a marine diatom. *Nature*, 2000, 407(6807): 996-999.
- [12] Field C B, Behrenfeld M J, Randerson J T, Falkowski P. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 1998, 281(5374): 237-240.
- [13] Marbà N, Duarte C M, Agustí S. Allometric scaling of plant life history. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(40): 15777-15780.

- [14] Falkowski P G. The ocean's invisible forest - Marine phytoplankton play a critical role in regulating the earth's climate. Could they also be used to combat global warming? *Scientific American*, 2002, 287: 54-61.
- [15] Richardson T L, Jackson G A. Small phytoplankton and carbon export from the surface ocean. *Science*, 2007, 315(5813): 838-840.
- [16] Azam F, Malfatti F. Microbial structuring of marine ecosystems. *Nature Reviews Microbiology*, 2007, 5(10): 782-793.
- [17] Smetacek V. Oceanography: the giant diatom dump. *Nature*, 2000, 406(6796): 574-575.
- [18] Rost B, Riebesell U. Coccolithophores and the biological pump: responses to environmental changes // Thierstein H R, Young J R, eds. *Coccolithophores; from Molecular Processes to Global Impact*. Berlin: Springer, 2004: 99-127.
- [19] Sun J. Organic carbon pump and carbonate counter pump of living coccolithophorid. *Advance in Earth Sciences*, 2007, 22(12): 23-31.
- [20] Lenton T M, Vaughan N E. The radiative forcing potential of different climate geoengineering options. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, 9: 2559-2608.
- [21] Gowing M M, Silver M W. Minipellets: a new and abundant size class of marine fecal pellets. *Journal of Marine Research*, 1985, 43(2): 395-418.
- [22] Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J, Froese R, Torres F Jr. Fishing down marine food webs. *Science*, 1998, 279(5352): 860-863.
- [23] Mykkestad S M. Dissolved organic carbon from phytoplankton // Wangersky P, ed. *The Handbook of Environmental Chemistry. Volume 5, Part D: Marine Chemistry*. Heidelberg: Springer-Verlag, 2000: 111-148.
- [24] Mopper K, Zhou X, Kieber R J, Kieber D J, Sikorski R J, Jones R D. Photochemical degradation of dissolved organic carbon and its impact on the oceanic carbon cycle. *Nature*, 1991, 353(6339): 60-62.
- [25] Ogawa H, Amagai Y, Koike I, Kaiser K, Benner R. Production of refractory dissolved organic matter by bacteria. *Science*, 2001, 292(5518): 917-920.
- [26] Jiao N Z, Herndl G J, Hansell D A, Benner R, Kattner G, Wilhelm S W, Kirchman D L, Weinbauer M G, Luo T W, Chen F, Azam F. Microbial production of recalcitrant dissolved organic matter: long-term carbon storage in the global ocean. *Nature Reviews Microbiology*, 2010, 8(8): 593-599.
- [27] Passow U. Transparent exopolymer particles (TEP) in aquatic environments. *Progress in Oceanography*, 2002, 55(3/4): 287-333.
- [28] Sun J. Transparent exopolymer particles (TEP) and aggregation web in marine environments. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1191-1198.
- [29] Hutchins D A, Mulholland M R, Fu F X. Nutrient cycles and marine microbes in a CO₂-enriched ocean. *Oceanography*, 2009, 22(4): 128-145.
- [30] Mari X. Does ocean acidification induce an upward flux of marine aggregates? *Biogeosciences*, 2008, 5(4): 1023-1031.

参考文献:

- [19] 孙军. 今生颗石藻的有机碳泵和碳酸盐反向泵. *地球科学进展*, 2007, 22(12): 23-31.
- [28] 孙军. 海洋中的凝聚网与胞外透明聚合物. *生态学报*, 2005, 25(5): 1191-1198.

CONTENTS

CO ₂ emission from an alpine <i>Kobresia humilis</i> meadow in winters	WU Qin, HU Qiwu, CAO Guangmin, et al (5107)
Effect of cultivation on soil organic carbon and total nitrogen accumulation in Cele oasis croplands and their relation to crop yield	HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (5113)
Biomass and its allocation of four grassland species under different nitrogen levels	QI Yu, HUANG Yongmei, WANG Yan, et al (5121)
Small-scale spatial patterns of genetic structure in <i>Castanopsis eyrei</i> populations based on autocorrelation analysis in the Tiantai Mountain of Zhejiang Province	QI Caihong, JIN Zexin, LI Junmin (5130)
Influence of vegetation on frozen ground temperatures the forested area in the Da Xing'anling Mountains, Northeastern China	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, YU Shaopeng, et al (5138)
Analysis of stable carbon isotopes in different components of tree rings of <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	SHANG Zhiyuan, WANG Jian, CUI Mingxing, et al (5148)
Retrieval of leaf area index for different grasslands in Inner Mongolia prairie using remote sensing data	LIU Yibo, JU Weimin, ZHU Gaolong, et al (5159)
Decomposition of lotus leaf litter and its effect on the aquatic environment of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	SHI Qi, JIAO Feng, CHEN Ying, et al (5171)
Effects of fire disturbance on greenhouse gas emission from <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> forested wetlands in XiaoXing'an Mountains, Northeast China	YU Lili, MU Changcheng, GU Han, et al (5180)
Wetland landscape transition pattern of Lianbo Beach along the Middle Yellow River	GUO Donggang, SHANGGUAN Tieliang, BAI Zhongke, et al (5192)
Effect of revegetation on functional groups of soil organic carbon on the Loess Plateau	LI Ting, ZHAO Shiwei, ZHANG Yang, et al (5199)
Soil organic and inorganic carbon contents in relation to soil physicochemical properties in northeastern China	ZU Yuangang, LI Ran, WANG Wenjie, et al (5207)
Characteristics of soil respiration in fallow and its influencing factors at arid-highland of Loess Plateau	GAO Huiyi, GUO Shengli, LIU Wenzhao (5217)
Soil microbial functional diversity between rhizosphere and non- rhizosphere of typical plants in the hilly area of southern Nixia	AN Shaoshan, LI Guohui, CHEN Liding (5225)
Differences in the surface palynomorph assemblages on a karst mountain and rocky desertification areas: a case in Nanchuan District, Chongqing	HAO Xiudong, OUYANG Xuhong, XIE Shiyu (5235)
Ash content and caloric value in the leaves of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> and its accompanying species	JIN Zexin, LI Junmin, MA Jine (5246)
Uptake kinetic characteristics of Cu ²⁺ by <i>Salix jiangsuensis</i> CL J-172 and <i>Salix babylonica</i> Linn and the influence of organic acids	CHEN Caihong, LIU Zhikun, CHEN Guangcai, et al (5255)
Introduction of <i>TaNHX2</i> gene enhanced salt tolerance of transgenic puna chicory plants	ZHANG Lijun, CHENG Linmei, DU Jianzhong, et al (5264)
Effects of air humidity and soil water deficit on characteristics of leaf cuticular waxes in alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	GUO Yanjun, NI Yu, GUO Yunjiang, et al (5273)
Influence of water storage capacity on yield of winter wheat in dry farming area in the Loess Plateau	DENG Zhenyong, ZHANG Qiang, WANG Qiang, et al (5281)
Research of dynamic variation of moisture in apple orchard soil in the area of Xianyang in recent years	ZHAO Jingbo, ZHOU Qi, CHEN Baoqun, et al (5291)
Volatile oil contents correlate with geographical distribution patterns of the miao ethnic herb <i>Fructus Cinnamomi</i>	ZHANG Xiaobo, ZHOU Tao, GUO Lanping, et al (5299)
Effect of environmental factors on growth of <i>Chlorella</i> sp. and optimization of culture conditions for high oil production	DING Yancong, GAO Qun, LIU Jiayao, et al (5307)
The effects of substrates on locomotor performance of two sympatric lizards, <i>Takydromus septentrionalis</i> and <i>Plestiodon chinensis</i>	LIN Zhihua, FAN Xiaoli, LEI Huanzong, et al (5316)
Guild structure of wintering waterbird assemblages in shallow lakes along Yangtze River in Anhui Province, China	CHEN Jinyun, ZHOU Lizhi (5323)
Phylogenetic diversity analysis and <i>in situ</i> hybridization of symbiotic Oxymonad flagellates in the hindgut of <i>Reticulitermes chinensis</i> Snyder	CHEN Wen, SHI Yu, PENG Jianxin, et al (5332)
An entropy weight approach on the comprehensive evaluation of the Pearl River Delta Nature Reserve	ZHANG Linying, XU Songjun (5341)
Review and Monograph	
On planning method of mesoscale and microscale ecological land	RONG Bingling, LI Dong, XIE Yingxia (5351)
Effects of land use change on soil organic carbon: a review	CHEN Zhao, LÜ Changhe, FAN Lan, et al (5358)
Marine phytoplankton and biological carbon sink	SUN Jun (5372)
Effect of permafrost degradation on methane emission in wetlands: a review	SUN Xiaoxin, SONG Changchun, WANG Xianwei, et al (5379)
A review on the effects of biogenic elements and biological factors on wetland soil carbon mineralization	ZHANG Linhai, ZENG Congsheng, TONG Chuan (5387)
A review of studies using ecological network analysis	LI Zhongcai, Xu Junyan, WU Changyou, et al (5396)
Scientific Note	
Dynamics of age structures on <i>Agropyron michnoi</i> and <i>Leymus chinensis</i> in different communities	JIN Xiaoming, AI Lin, LIU Jidong, et al (5406)
The impact of thematic resolution on NDVI spatial pattern	HUANG Caixia, LI Xiaomei, SHA Jinming (5414)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 18 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 18 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元