



发展生物海洋学研究

王 荣*

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

我国的海洋生物学研究是相当有基础的。许多老一辈的科学家都是国内外知名的海洋生物学家。今天的中国科学院海洋研究所也正是从建国初期的海洋生物研究室发展起来的。40年来,在海洋动植物分类区系研究,潮间带、沿岸带和近海的生态学考察,西沙和南沙考察,南极考察,重要经济种类的资源考察和生物学研究,环境的生物监测研究,海洋动植物的生理学研究,养殖种类的基础生物学与养殖原理研究等方面都做了大量的工作。仅举一方面的例子:海带、紫菜、对虾、贻贝和扇贝这些生物的养殖之所以能形成今天这样大规模的产业,是与许多海洋生物学家的辛勤耕耘分不开的。

尽管我国的海洋生物学研究力量相当强,生物海洋学研究却是薄弱环节,而且与国际先进水平的差距有逐渐加大的趋势。不仅是工作上的差距,概念和认识上的差距也加大了,或者说脱节了。

什么是生物海洋学?我看到的唯一的一个定义是“海洋的生物学”(The Biology of the Ocean^[9])。这个解释太不明确,甚至不如生物海洋学(Biological Oceanography)的字面含义明确。从它的实际研究内容来看,是否可以这样理解:生物海洋学是研究海洋中的生物学现象和生物学过程,它们自身的规律和它们与其他物理的、化学的和地质的现象和过程之间的相互作用。海洋生物学(Marine Biology)研究的是生物学,而生物海洋学研究的是海洋学。不过它不是研究物理海洋学或化学海洋学,而是生物海洋学。更概括地讲生物海洋学是研究与生命活动有关的海洋学问题。

海洋生物学研究的是鱼、虾、贝、藻等海洋

生物,研究它们的分类区系、形态结构、地理分布,繁殖发育、遗传、生理、生化和生态等等。生物海洋学研究的问题很多,不能列举它的全部内容,只能举几个例子,如海洋中生命物质存在的形态和时空分布问题,海洋中的生物生产过程,生源元素及其他与生物活动有关的物质的生物地球化学过程,污染物质通过海洋食物链的转移和转化过程。海水的生物净化过程研究,还有近年来提出的大气中CO₂的增加对海洋生态系统的影响,及海洋生态系统对海洋和大气的反馈等等。生物海洋学着眼的是整个现象或过程,而不是具体的海洋生物。虽然它与海洋生物学研究密切相关。比如赤潮是一个生物学现象,当然需要知道产生赤潮的生物是什么,本身有什么繁殖规律,以及产生什么类型的毒素和毒理等。但从生物海洋学角度最终要解决的是赤潮发生的海洋学条件,和它对海洋环境和生态系统产生什么影响以及预测等。

下面,提出几个重要的生物海洋学问题,除对生物海洋学的研究内容做进一步阐述外,也希望能引起海洋学界的重视。

I. 生物生产过程研究

生物生产过程也许是海洋中最活跃和最重要的生物学过程。提到生物生产,人们自然会联想到初级生产、次级生产……食物链的结构和转换效率等。即使这些传统的工作我们开展得也很少。下面只谈近年来的进展和我们的差距。

初级生产力可以说是生物海洋学的最基本

* 王 荣研究员为本刊编委。

参数。50年代 Steemann Nielsen 提出了用 C^{14} 标记在现场测定光合作用同化率的方法。这一方法已用了近半个世纪,至今我们还没有提出一张中国邻近海域的初级生产力分布图。这与我国是渔业大国和水产养殖大国的地位极不相称。近年来,由于工作的深入,国际上对 C^{14} 这一经典方法已开始提出质疑,这方面我们的差距就更大了。海洋植物与陆生植物最大的不同在于,光合作用的产品在陆生植物几乎全部转换成自身生物量;而对海洋植物,产品有相当大一部分在光合作用的同时以 DOM 的形式释放到海水中^[2],这个比例一般在 30~40%。因此 C^{14} 法测定的海洋初级生产力是一个偏低的估计值。很显然,研究浮游植物光合作用产品的分配将是一个重要课题。海洋中的 DOM 不完全来自光合作用,组织自溶、尸体分解、排泄物等也是重要来源。过去对 DOM 的作用轻视了。研究表明,在海洋中所有有机物质(包括有生命的、无生命的、颗粒的和溶解的)当中现存量最大的是 DOM,占全部有机物的 99.35%。非生命的颗粒物质只占 0.38%,而有生命的颗粒物质仅为 0.27%。

近年来在生物生产研究中的一个重大进展就是微生物食物环 (Microbial food web) 的发现。DOM 可以被大量的自由生活的异养微生物所利用,再次变成颗粒物质(微生物自身生物量)。后者又被所谓的“micrograzers”(主要是原生动物)所利用变为更大的颗粒。然后再进了后生动物的食物网 (Metazoan food web)^[3]。这一发现与微生物研究的进展分不开。现在采用落射荧光法直接计数海水中自由生活的微生物,才发现过去用培养法获得的微生物生物量只相当于实际生物量的 1/10 甚至更低。自养微生物在初级生产中的贡献,以及异养微生物利用 DOM 所构成的二次生产,都是生物生产研究中的重要课题,我知道国内有些科学家已开始注意到这些问题,但还没有相应的课题。

在初级生产研究中的另一个重要进展是微级 (pico-, 0.2~2.0 μm) 浮游生物的研究。

过去人们习惯于把几十微米的硅藻当做海洋里的主要生产者,现在已经知道更小的自养生物在初级生产中的贡献不容忽视^[3]。在大洋区,这种贡献竟高达 60%。即使在南大洋,叶绿素 a 在小于 1 μm 自养生物中的比例也占到 3~70%。以前用 C^{14} 法所获得的初级生产资料都是以大于 0.45 μm 的颗粒为基础的(采用的滤膜孔径为 0.45 μm)。因此从这个意义上讲,也是实际生产力的偏低估计值。低多少则与彼时彼地的具体情况有关。目前的趋势是,在测量初级生产力和测定叶绿素 a 含量时采取分级处理。至少分 3 个级别:大于 20 μm , 2~20 μm 和 2 μm 以下。这样才能获得更多的信息。

食物链(网)的结构和功能研究是相当复杂和烦琐的。即使是次级生产力,也不可能像初级生产力那样可以用一种方法去直接测定。需要一个种一个种地去计算。而这种计算又依赖于对每个种类的生物学和种群数量变动等许多方面的了解。这里我想介绍一种比较新的、从宏观上了解各营养阶层间量的关系及动态的方法,即粒径谱 (particle size spectrum) 概念。水层中的所有生物,包括微生物、单细胞藻类、浮游动物和鱼,都可视为水体中的悬浮颗粒。研究不同粒径上的生物量分布就会发现一定规律。事实是我们已经注意到:个体小的生物生命周期短、增殖速率快、产量大;个体大的生命周期长、增殖速率慢、产量小。如果将粒径采用相应球形直径 (Equivalent spheroidal diameter) 并用对数级数排列,则各粒度上的生物量存在着线性关系。在生物海洋学中习惯于用以 10 为底的对数级数划分海洋生物,如 femto-级的粒径为 0.02~0.2 μm , pico-级为 0.2~2.0 μm , nano-级为 2.0~20 μm , micro-级为 20~200 μm , meso-级为 0.2~20 mm, macro-级为 2~20 cm, mega-级为 20~200 cm。但在粒径谱研究中,一般采用以 2 为底的对数级数,这样获得的信息更多。当系统中各营养阶层处于平衡状态时,这种线性关系最清楚。某种浮游植物的突发性的“bloom”,在粒径谱上可以形成一个孤立的峰,但在其他粒度级上不可能有反映。

因为生态系统在长期进化中适应的是一种平均状态,不可能对局部和暂时的变化做出反映。如同一个正常运转的工厂,某工段上的产量突然增加其他工段不可能跟上一样。粒径谱上这种波动恰恰是反映了生态系统内的动态变化,它可以告诉我们在生物生产过程中那个粒度级上存在着过剩,而那个粒度级上存在空缺。平衡状态下的粒径谱又可以告诉我们各粒度级生物的量关系。

粒径谱研究是从宏观上或总体上了解生态系统的最简便的方法。除其理论意义外,还有其实用价值。比如,可以利用已知某粒度级上的生物量和产量去推算别的粒度级上的生物量和产量。Sheldon 等(1982)曾根据圣劳伦斯湾 $8\sim 80\mu\text{m}$ 浮游植物的生物量和产量推算了鲱和鳕的产量^[9],这对确定最大维持可捕量是重要依据。我国在这方面还完全是空白。不是因为我们没有条件搞,而是因为搞虾的只管虾,研究鱼的只关心鱼,没有人从总体上考虑生物海洋学的问题。

II. 生物地球化学过程研究

生物地球化学过程涉及的内容非常多。生命活动是海洋中最积极最活跃的因素,几乎所有地球化学过程与之有关。这里仅举几个例子。国际地圈与生物圈计划(IGBP),也叫全球变化研究,是当前最大的一项国际科技合作计划。核心是温室气体增加对全球气候影响的问题。最主要的温室气体是 CO_2 。人们预测下个世纪中期以前 CO_2 在大气中的含量将增加一倍,达到 600×10^{-6} 左右。这将使全球平均气温升高 $1.5\sim 4^\circ\text{C}$,极区可能增加 $5\sim 10^\circ\text{C}$ 。随之而来的还有降水格局的变化和海平面的上升等。这些变化关系着人类未来的命运。 CO_2 的继续增加是肯定的,但气温升高多少还不能肯定。因为上述预测是根据现存的计算机模式,而它又是基于现有的认识。其中最大的未知数就是海洋对大气中 CO_2 增加的调节能力^[7]。

海洋占地球表面积的 71%,海洋是最大的

碳库,海水中的碳是大气中的 50 倍。所谓的“生物泵”(Biological pump)就是指由浮游植物光合作用、浮游动物摄食、大量粪便颗粒的沉降和微生物分解等生物活动构成的碳由真光层向深层的转移过程^[10]。浮游植物在真光层固定的碳(指颗粒态)每年大体是 $150 \times 10^8\text{t}$,而每年燃烧化石燃料进入大气的碳也不过 $60 \times 10^8\text{t}$ 左右。当然,真光层中浮游植物固定的碳不全部来自大气,相当一部分是来自再循环。我们的研究要回答的就有一个新生产力(New production)的问题。单纯从物理海洋角度讲,海洋对大气中 CO_2 的吸收取决于大气中 CO_2 分压与海水表层中 CO_2 分压之间的压差,和一个与风和浪有关的表面系数。但实际上起决定作用的是生物泵。没有生物泵的效应,大气与海洋的 CO_2 分压将很快达到平衡。全球变化研究中在海洋方面有两个计划,一个是正在进行的 JGOFS 计划(全球海洋通量联合研究),另一个是 GOEFS 计划(全球海洋真光层研究)。而它们要回答的问题正是生物泵和有关物理、化学过程共同形成的碳的生物地球化学过程,它是如何进行的,它对大气中 CO_2 增加的响应,以及调控机制等。

我举一个南极磷虾的例子谈一谈生物泵中的一环——浮游动物在碳的垂直转移中的作用。大洋上初级产品的 90% 直接被草食性浮游动物所利用,但同化率不高(平均水平为 $50\sim 60\%$),摄入的有机物差不多有一半以粪便球的形式排出并迅速沉降。浮游植物由于个体小,靠自身沉降转移深层的可能性很小。即使未被利用的那一小部分有机会下沉离开真光层,它们也将迅速死亡并被微生物所分解。粪便球相对讲个体大且密实,阻力小、沉降快,是碳的垂直转移的重要形式。一只体重 1g 的南极磷虾(指大磷虾 *Euphausia superba* Dana)一天的排便量是 44mg(干重),相当于 4.114mg 碳,南极磷虾的现存量以 $10 \times 10^8\text{t}$ 计,并假定每年只在夏半年(183d)摄食,其全年的排便重为 $753 \times 10^6\text{t}$ 碳。磷虾的粪便球沉降速度相当快,每天 100~500m。微生物来不及作用就沉

到海底。加上蜕皮形成的垂直碳通量 54×10^6 t, 共计 807×10^6 t。仅一个种的粪便和蜕皮所构成的垂直碳通量竟如此之大(相当于全球每年燃烧化石燃料的 1/7), 可见全球海洋浮游动物的作用有多大了。我国的少数科学家已经意识到生物地球化学过程研究的重要, 并在有关计划如 JGOFS 计划中已有所考虑, 但由于基础差, 在未来的工作中将会遇到许多困难。

III. 生物和生源物质在海洋中的存在形式与变化规律

这里的生源物质是指直接来自生命活动的非生命颗粒有机物 (non-living POM) 和溶解有机物 (DOM)。

海洋中的生命活动基本上可分为两大体系: 水层的 (pelagic) 和底栖的 (benthic)。它们之间有联系, 但各有自己的特点。限于专业, 我举的例子主要是水层的。

在 pelagic 这个系统中, 在垂直方向上, 生命活动集中在真光层 (euphotic zone)。从生物量上看, 从真光层向下以指数关系锐减。混合层 (mixing layer) 的深度和混合强度对真光层中浮游植物种群的形成是至关重要的, 特别是在营养盐不是限制因素的高纬度海区。叶绿素含量最大层有时出现在非常靠近海表的地方, 有时则出现在真光层的下限处, 甚至低于下限。后一种情况往往与密度跃层的分布有关。微生物的生物量可能只相当于所有颗粒有机物质的百分之几, 但在某特定水层可高达 $300 \sim 700 \text{ mg/m}^3$, 而这一水层也往往出现在真光层下限或以下。

从水平分布上看, 高生物量区则集中出现在陆架区和上升流区。大洋区, 特别是赤道两侧热带与亚热带的大涡漩区则是最贫瘠的。赤道上升流区则是沙漠中的绿洲^[4]。从海洋生物的分布格局看, 在大尺度上主要取决于大洋环流和水团分布。比如南极磷虾 (*Euphausia superba* Dana) 的环南极分布主要是强大的绕极流所决定的。在绕极流与南极近岸流之间存在着许多中尺度涡漩, 它们的位置和强度又决

定着磷虾的中尺度分布。锋面变化也是决定中尺度分布的重要因素。1983 年斯科舍海域磷虾减少, 就是威德尔-斯科舍锋 (Weddell-Scotia Confluence) 向南推移的缘故^[5]。在小尺度上则往往与局部气象活动、饵料生物分布、竞争与天敌有关。南极磷虾在小尺度上被认为是密集区中的虾群分布 (Swarms within concentrations) 这种结构又往往出现在从陆架到陆坡的转换处, 最密集的虾群又多出现在流速梯度最大的地方。

局部气象活动与小尺度分布关系的最突出的例子是兰米尔涡流 (Langmuir vortices) 所形成的浮游生物的条带状分布。在风向垂直面上的涡流, 形成了浮游生物在小尺度上的辐聚和辐散。兰米尔涡流的生态学意义在于, 某些海区的浮游生物现存量如从其平均水平看不足以支持某一消费者(如鱼)的种群, 由于饵料密度太稀疏, 索饵所消耗的能量大于所摄取的能量。然而由于兰米尔涡流的作用使饵料集中了, 索饵的能耗大大减少了。

微尺度分布 (Microdistribution) 是指 m 级乃至 m 以下的分布, 在浮游生物研究上也称为斑状 (Patchiness) 分布。这种分布与物理因素有关, 但行为和生理因素更重要。这一现象除其生态学意义外, 在取样理论上也有重要意义。生物密度不是均匀分布也不是随机分布, 样品的统计分布也就不是正态分布, 而是接近“迦马分布”。这些问题很重要, 但很少有人注意。

在时间分布上也存在各种尺度的变化: 昼夜的、季节的、发育的和年际的。几乎所有的浮游动物都有昼夜垂直移动 (Diurnal vertical migration), 其生态学意义一方面在于调节真光层中有机物生产的昼夜节律, 另一方面形成有机物垂直移动的阶梯。白天浮游动物(大部分是草食性者)下沉离开真光层, 让浮游植物高速增殖, 夜间当光合作用停止时, 浮游动物上升到真光层内摄食。大洋上浮游植物的生产量最高, 而生物量却最低 ($P/B = 367$), 就是因为迅速生产迅速消耗的结果。浮游动物的昼夜垂直移动和昼夜摄食节律, 保障了初级生产的高

效率。栖息在不同水层的浮游动物的垂直移动,构成了一环扣一环的阶梯,使上层生产的有机物可以藉助于这一阶梯传向深层。

季节分布的典型例子是生物生产在高纬度的单峰周期,中纬度的双峰周期和热带海洋的多周期以致周期性不明显的变化。年际变化(Interannual variation)也许是同人类关系最密切、最重要的时间尺度变化。如渔业资源的年际变化,往往给渔业生产带来很大困难并造成巨大损失,这种年际变化往往与大气活动和大洋环流的年际变化有关,如厄尔尼诺现象等。

作者也是多年从事海洋生物学工作的,生物海洋学知之甚少。文中错误不当之处希批评指正。

参考文献

[1] 王 荣、林雅蓉、刘孝贤,1988。太平洋表层水某些生物海洋学要素和颗粒谱的分布规律研究。海洋与湖泊

19(6): 505~517。

- [2] Flynn, K. J., 1988. The concept of "primary production" in aquatic ecology. *Limnol. Oceanogr.* 33(5): 1215-1216.
- [3] Fogg, G. E., 1986. Picoplankton. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B* 228: 1-30.
- [4] Longhurst, A. R. and W. G. Harrison, 1989. The biological pump: profiles of plankton production and consumption in the upper ocean. *Prog. Oceanogr.* 22: 47-123.
- [5] Parson, T. R. et al., 1984. Biological Oceanographic Processes. 2nd ed., Pergamon Press, 330 pp.
- [6] Priddle, J. et al., 1989. Large-scale fluctuations in distribution and abundance of krill. In: "Antarctic Ocean and Resources Variability" (D. Sahrhage ed.), Springer-Verlag, pp. 169-182.
- [7] Sarmiento, J. L. et al., 1989. Ocean carbon-cycle dynamics and atmospheric $P-CO_2$. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A* 325: 3-21.
- [8] Scavia, D., 1988. On the role of bacteria in secondary production. *Limnol. Oceanogr.* 33(5): 1225-1227.
- [9] Sheldon, R. W., 1982. Fish production in multispecies fishery. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 59: 8-38.