

海洋浮游生物研究的现状*

鄭重 鄭执中

(中国科学院海洋研究所)

A REVIEW OF THE PRESENT STATE OF MARINE PLANKTON RESEARCH

C. CHENG AND T. C. CHENG

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

浮游生物学是一门比较年青的生物科学,发展迄今虽有一百多年的历史,但还是在本世纪三十年代逐渐开展浮游生物生态学的研究之后,才真正成为一门有系统的独立科学。在这门学科发展的初期(19世纪前后),分类和形态研究是它的主流。自1900年以后,随着动物和植物生态学的蓬勃发展,浮游生物学也走上了生态研究的道路,这个发展是和生产实践的需要分不开的。

和其它海洋生物学各分支一样,海洋浮游生物学正向着生物学与海洋学相结合的方向发展。由于吸取了边缘学科的新知识,尤其是生理、生化以及现代生物物理学的新成就、新技术应用到浮游生物的研究上,浮游生物学获得了新的发展,研究领域也更加扩大了。生态研究,尤其是自然生态研究,无疑的,是现代海洋浮游生物学的主流,并将结合着生理生化向前发展。这也正是其它海洋生物科学发展的总的趋势。

浮游生物自然生态的调查研究,不论在过去、现在或将来,都是海洋浮游生物学的主要中心课题。这是可以理解的,因为,只有通过海洋综合调查,才能获得浮游生物生态研究所必需的分布及数量变动等的基本资料。过去,海洋浮游生物生态调查主要集中在北大西洋及其邻近海区(如北海等)进行。最近二十年来,尤其是五十年代以来,已扩展到世界各大洋和各海区。国际地球物理年开始以后,浮游生物被列为主要调查项目之一。无疑的,这将更进一步促进浮游生物学的迅速发展。在浮游生物生态调查方面,苏联作出了卓越成绩,特别是在北极海和北太平洋调查方面,远远走在其它国家的前面。最近二年来,在印度洋的浮游生物调查方面,仍是苏联一马当先。在上述一系列的调查中,苏联浮游生物学家对浮游生物学所作出的主要贡献是:(1)阐明了北太平洋和远东诸海浮游生物的群落组成、分布及其与理化环境,特别是与环流的关系,并对北太平洋浮游生物,特别是哲鰲蚤 *Calanus* 的地理分布进行了初步区划。(2)探索了北太平洋深沟(千岛群岛——堪察加深沟)浮游生物的垂直分布,发现在9,950米的深沟里还有很多生物(包括浮游生物)的存在。这有力地驳倒了瑞典海洋学家 Petterson 所提出的“超过6,500米深海中没有动物

* 本文曾于1961年12月在全国海洋学术会第一次会议上宣读。

存在”的論点。同时还发现了浮游生物量随着深度而下降,可是种类数目却有随着深度而增加的趋势。不过到了 6,000 米以下,不論生物量或种类都非常貧乏。这和深沟里的食物稀少密切相关。此外,一般浮游动物的顏色从紅褐色变为灰白色,它們的食性也有显著改变——从滤食性轉变为捕食性,还有不少深层种类专以有机和无机碎屑为生。这种食性的改变是和浮游植物的消失分不开的。据調查結果,深沟中的浮游生物羣落主要是由放射虫、介形类、挠足类和端足类組成。(3)发现北极海及南冰洋的生物量大,种类少、个体大;可是,在北极海中央区的浮游生物却远比邻近海区貧乏。热带海的生物量比北温带海約低 10 倍,而赤道逆流区的生物量却較其邻近兩側的赤道流区为高。这是因为那里产生了上升流,把深层的营养盐类帶到上层,有利于浮游生物的繁殖。由于热带海浮游植物較为貧乏,海底沉积物中硅質也随着减少。(4)发现在太平洋热带深海区受到自深层侵入的寒带与亚寒带冷水影响的区域,浮游生物远較不受这些冷水影响的区域为丰富。(5)发现印度洋中央区浮游生物数量最低,向东,向西逐漸增加,在赤道逆流的南貿易风流区附近,数量最多。在赤道区浮游生物数量与跃层位置有明显关系:跃层上界的位置愈接近表面,浮游生物愈丰富,反之,則貧乏。浮游动物的种类組成与热带太平洋相似,草食性挠足类的密集区与輻散区的位置一致,而肉食性挠足类和大型浮游动物的密区則出現于輻散区附近。(6)发现太平洋 100 米以上的上表层浮游生物生物量的分布与地理分区有着密切关系。浮游生物的数量是受着海水的交混和水温季节变化的影响。由风或环流交汇峯面所产生的上升流对浮游生物生物量的影响至为显著,太平洋东岸的上升流強于太平洋西部的,而决定了东太平洋热带区的浮游生物的数量远較西太平洋热带区的为丰富。

五十年代以来,美、日、英、法等国也进行了不少浮游生物学的自然生态調查工作,其中調查范围及規模最大的是:美国 Scripps 海洋研究所、海軍电子学实验室和太平洋漁业研究所等研究机构自 1951 年以来,先后在北太平洋广泛地进行了綜合性海洋調查及漁业調查,和日本自 1953 年以来对黑潮区进行了持續多年的綜合性海洋調查。通过这些調查,闡明了浮游生物的分布与太平洋各主要水团和海流的关系。如 Bieri^[23], Tokioka^[61,65] 和 Bradshaw^[29] 等分别指出了毛顎类、浮游被囊类和浮游有孔虫在太平洋的分布和地理分区是与各主要水团和海流的分布相一致的。

近年来,英国在生态調查方面主要是探索了北海浮游生物指标种的分布与鲱魚索餌洄游的关系;并編制了北海及英国附近水域的浮游生物分布图。此外,还繼續进行着南冰洋浮游生物的生态調查。在这方面最近几年来,苏联、法国、澳大利亚和新西兰也先后在南太平洋局部水域开展了浮游生物的生态調查工作。因此,南冰洋已成为世界上研究浮游生物比較集中的一个水域。

探索浮游生物在時間上和空間上的分布規律,是浮游生物生态調查的重要課題,不論在理論上和生产实践上,都具有重大意义。最近 Зенкевич^[69] 把这项研究,列为当代海洋生物学的三大問題之一。通过最近二十年来各国进行的一系列海洋綜合調查,不論在浮游生物的平面分布、垂直分布或季节分布等方面,都获得了非常丰富的資料,并取得了下列一些新的研究成果:

1. 平面分布 过去各国浮游生物学家常把平面分布分为三大地理区:(1)寒带区——包括北极海和南冰洋;(2)温带区——包括北温带和南温带;(3)热带区。在寒带区和温

带区之間及温带区和热带区之間,一般又分別加入亚寒带区与亚热带区。最近,Богоров^[20]认为在北半球不需要再分出这两个亚区。事实上,这两个亚区都是过渡带,也是混合带,沒有真正独特的浮游生物区系。哲鏢蚤是太平洋和大西洋最主要浮游动物之一。过去,关于这一属挠足类的分类与分布的报导,长期存在着混淆不清的情况。1952年 Бродский^[6]发表了北太平洋挠足类区系研究的专著,特别是他和 Яшнов^[17]所作关于哲鏢蚤属的平面分布研究,明确了各种哲鏢蚤的分布范围。他们指出了:飞馬哲鏢蚤 *Calanus finmarchicus* 的分布范围仅限于大西洋北部及其邻近水域,而分布于北极海及其邻近水域的則是北极哲鏢蚤 *C. glacialis*。海哥兰哲鏢蚤 *C. helgolandicus* 是暖水种,主要分布于大西洋中部及地中海。最近,Бродский^[7]对太平洋哲鏢蚤 *C. pacificus* 作了进一步的分类研究,发现从前鉴定的太平洋哲鏢蚤是包括了两个种:中华哲鏢蚤 *Calanus sinicus* 和太平洋哲鏢蚤,前一种是 Бродский 最近发现的新种,分布于我国黄、东海和日本东南沿岸以及南海沿岸,跨越 23 个緯度綫(44°—21°N)。后一种包含了三个亚种:*C. pacificus pacificus* 分布于薩哈林島南部和日本海西北部,*C. pacificus oceanicus* 分布于太平洋北部的千島羣島水域,和 *C. pacificus californicus* 分布于美国加利福尼亚沿岸(40°—42°N 以北水域)。关于毛顎类的平面分布,最近十年来,Токиока^[64]进行了比較全面的研究,特別对百陶箭虫 *Sagitta bedoti* 作了更深入的研究,发现这种箭虫的分布中心可能在我国东海,在北方(黄海),它被強壯箭虫 *Sagitta crassa* 所代替,在南方(南海),它被壯箭虫 *S. robusta* 所代替,在东方(太平洋),它被鋸齿箭虫 *S. serratodentata* 所代替。这些箭虫的平面分布在一定程度上也反映出不同水系的分布情况。

关于浮游生物平面分布和海流的关系,早已引起浮游生物学家的重視。不过,明确指出浮游生物作为海流或水团的指标,还是最近 30 年来的事。英国浮游生物学家 Russell^[57]为这方面的研究鋪平了道路,他不但提出北大西洋不同水团的指标种,特别是英吉利海峽不同水团的指标种——秀箭虫 *Sagitta elegans* 和毛箭虫 *S. setosa* 可分別作为大西洋外海高盐水和北海低盐水的指标种,并且还提出了作为指标种的具体条件。五十年代以来,各国在这方面的研究都获得了一些新的成果。Bumpus & Pierce^[30]列举出几种毛顎类可分別作为 Carolina 北岸陆棚区三个不同水团——Virginia 和 Carolina 两个近岸水和 Florida 海流的指标种。Токиока^[63]和 Bieri^[23]分別研究了毛顎类的分布与亚洲沿岸和太平洋各主要水团的关系,并且还列举了各主要水团的指标种类。Sund & Renner^[60]研究太平洋东北部毛顎类的分布,指出了琴形箭虫 *S. lyra* 的出現,是标志着亚极区的外洋水混进了阿拉斯加环流里。最近 Яшнов^[18]还专门研究了哲鏢蚤的分布和海流的关系。他指出:北极哲鏢蚤可作为北极水团的指标种,飞馬哲鏢蚤可作为亚北极水团的指标种,海哥兰哲鏢蚤可作为地中海水团的指标种。总的看来,凡对温、盐度变化較为敏感的狭温性、狭盐性大型种类(如水母、箭虫、挠足类、海樽类等)都具有作为海流或水团良好指标种的条件。特別是一些种內的亚种或生态型的分布,更能明显地反映出其分布区的水文情况。值得提出的是,指标种研究对判別不同水团或海流在交汇水域的水文性質是有一定帮助的。为了提高指标种研究的质量,今后必須从定性轉向定量研究,并須加强指标种的生活史、生态习性等方面的研究。

2. 垂直分布 浮游生物的垂直分布及与垂直分布密切相关的昼夜垂直移动是一个复

杂多变的生态现象,不但随地区、深度、季节而异,而且随种类、性别、年龄以及水文不同情况而起着相应变化。过去,有关这方面的研究,一般局限于浅海或近岸水域,并且一般都是应用定性方法;随着调查船和采集工具的改进,才逐渐移向外海与深海,并开始采用了定量方法和生态观点来研究垂直分布。根据 Богоров^[5,26] 和 Бирштейн^[4] 的研究,海洋浮游生物的垂直分布可以分为三个主要层:(1)生产层(producing zone)(0—200米)——这是光照层(euphotic layer),也是浮游植物制造有机物的水层,生物量高,滤食性浮游动物占优势。这层又可分为二层:①强光层(0—100米)——光照强,浮游植物繁殖很盛,依浮游植物为生的小型挠足类和其它小型甲壳类集中在这个水层;②弱光层(100—200米)——光照较弱,浮游植物很贫乏,依浮游植物为生的浮游动物也逐渐减少。(2)消耗层(consuming zone)或过渡层(transitional zone)(200—500米)——浮游植物完全消失,浮游动物种类增多,可是生物量较低,这和滤食性种类减少有关。(3)深水层(deep-water zone)(深度大于500米)——捕食性种类占优势。这层又可分为二层:①深海层(500—6,000米)——生物量低,很多动物为红褐色;②深沟层(深度超过6,000米)——浮游动物的种类和数量都极贫乏,生物量小于1毫克/米³,动物颜色变为灰白色。Богоров^[25] 曾在北极海观察浮游动物的昼夜垂直移动,发现在不分昼夜的夏季(全是白天),一般浮游动物都集中在一个水层,不进行昼夜垂直移动。到了有昼夜变化的秋季,又恢复了昼夜垂直移动。这显示出光度变化在昼夜垂直移动中起着主导作用。Виноградов^[9] 还发现深海大型浮游动物,特别是摄食浮游植物的种类,具有大幅度的垂直移动。个别大型甲壳类(如大型磷虾、樱虾等)的垂直移动幅度可以超过600米,甚至达到1,000米。

关于影响昼夜垂直移动幅度的因素,最近十多年来又有新的发现。Геинрих^[13] 观察到热带海浮游动物的垂直移动不如温带海那么强烈。Hansen^[36] 指出温跃层对很多种类如长腹鳃蚤(*Metridia lucens*)等的昼夜垂直移动起着阻碍作用。最近 Богоров^[27] 还发现,远东海很多上层浮游动物,由于中间冷水团的存在,不能下降,而只能在上层内进行垂直移动;因此,该海浮游动物的垂直移动幅度不大。

关于引起昼夜垂直移动的外界因素,大多数浮游生物学家都一致认为光度的昼夜变化是最主要的。不过,温度可以改变动物对光度的反应(趋光性或避光性),从而起着间接作用。Waterman^[68] 指出:浮游动物的定向移动可能与海水的极化有关,而海水的极化则随着太阳的高度及方位而变化。浮游动物是依赖一日间极化光的方向与量,而进行定向移动。最近还有人提出内波、压力、浮游植物密度等因素也可影响垂直移动。至于引起昼夜垂直移动的内界因素,除了年龄及代谢生理状态以外,最近 Marshall & Orr^[51] 还提出性腺发育程度的重要性。

近年来,Hardy & Bainbridge^[37], Harris & Wolfe^[38] 等还进一步在实验室内进行试验研究。这样,可以更好地观察与分析控制浮游动物昼夜垂直移动的各种外界因素。他们的试验研究结果显示光度变化是引起并控制昼夜垂直移动的主导因素。

3. 季节分布 过去,浮游生物学家都根据水文季节来研究浮游生物的季节分布。Богоров^[24,27] 提出以生物季节来代替水文季节。他比较研究了各纬度海区的生物季节的特征及时期,发现寒带海和热带海都仅有一个数量高峰,称为单周期海(monocyclic seas),而温带海和亚热带海则都有二个高峰,称为双周期海(dicyclic seas),并发现各个生物季节的

长短随纬度而异,例如,生物夏季在热带很长,达9—10个月,而在寒带很短,仅有1—2个月;反之,生物冬季在寒带很长,达10个月,而在热带几不存在。这些差别与外界环境,特别是温度、光度、海流、营养盐类等因子密切相关,同时,和內界因子如生活周期、数量变动以及滤食性鱼类的摄食量有关。不过,Богоров 所提出的生物季节,主要是根据北极海和北温带海的季节分布资料,因此,能否具体适用于亚热带和热带海,还是一个值得研究的问题。因为,有关低纬度海区浮游生物的生态研究资料,迄今还很贫乏,尚难遽下结论。最近,Гейнрих^[11,12] 从事各纬度海区浮游生物季节分布的比较研究,特别重视生殖、发育和浮游动物与浮游植物的相互关系等生物环境因子在季节分布中所起的作用。在这些方面,过去重视不够,而较多地注意到外界环境因子的影响。事实上,外界因子只有通过內界因子才能起作用。

浮游生物是水域食物链中的一个重要环节,所以,Зенкевич^[69] 将食物链列为现代海洋生物学的三大问题之一。关于各类浮游动物的食物及饵料成分,尤其是挠足类和磷虾类的食料,过去已经进行了比较详尽的分析研究,发现它们的食料成分有地区变化、季节变化,并随种类、年龄和食性而异。最近,Пономарева^[14] 发现磷虾眼睛是磷虾食料中的重要成分之一,尤其是在硅藻贫乏的冬季,磷虾眼睛在食料中的比重更大。Беклемишев^[2,3] 发现挠足类的大颚齿的大小、数目和构造与食性有关——滤食性种类具有较多、较大和较钝的缘齿;并具有硅质冠,用以磨碎硅藻的硬壳;而肉食性种类的缘齿则较小、较尖,并不具硅质冠。他还发现有些种类的食性可以转变。当在浮游植物稀少的时候,可以从滤食性改变为肉食性。此外,很多学者还研究浮游生物分布和鱼类及鬚鲸索饵洄游的关系,为找寻鱼群或鲸群提供科学依据。关于各类饵料生物的营养价值、消化程度、以及能量在食物链中的转换等问题,也逐渐引起各国浮游生物学家的注意。

为使浮游生物研究能进一步为渔业资源预报提供科学依据,英国浮游生物学家们在多年前就企图在广大海区中建立好象气象台站一样的定期定点的浮游生物观察系统,以便为建立预报系统积累资料。日本学者曾根据历年赤潮发生记录的分析,研究赤潮发生的规律,并已在岛根县中海试行赤潮预报。新加坡渔业局 A. K. Tham^[61,62] 对新加坡海峡的理化因子、浮游生物数量以及渔获量进行连续14年的记录与研究,编制出浮游动物和浮游植物的日曆,并在最后两年进行渔情预报,获得相当高度的准确性——在24个月的预报中,有17个月的误差是在统计学上标准误差的范围内。这个工作对如何有效地使浮游生物研究为渔业资源服务,是具有启发性意义的。

在世界各海区中,特别是在中纬度和高纬度海洋里,浮游生物中某些主要种类常在浮游生物总生物量的变化上,起着主导作用。因此,研究一个海区浮游生物的数量变动规律,必须对该海区中的主要种类进行个体生态的研究。过去,尤其是在最近十多年来,群落生态的研究做得较多,而个体生态的研究还比较少,仅对大西洋的飞马哲鰈作了详尽地、系统地研究。英国 Marshall 和 Orr^[43] 总结了这方面的资料,写出了一本具有相当水平的专著,这为个体生态研究铺平了道路。最近几年来,Пономарева^[14,15,16] 也进行了一系列有关磷虾个体生态的研究。从生态学的发展趋势看来,今后个体生态研究将会大踏步向前迈进。

近年来,对引起赤潮的浮游生物(特别是夜光虫)的生理生态也进行了一些实验研究。

一方面研究了产生赤潮的生态条件(如营养盐、上升流、水温等),另一方面对这些赤潮生物危害经济海洋动物(如鱼类、贝类等)的原因,进行了生理研究。Abbot & Ballantine^[22]发现有些腰鞭毛虫(如 *Gymnodinium*, *Glenodinium* 等)能分泌一种麻醉神经的毒素(neurotoxin)。如果这种毒素达到一定数量,便会导致动物的死亡。可是,在防治赤潮方面,迄今还没有开展任何研究,这是值得重视的一个问题。

海洋初级生产力(primary production)的研究已成为海洋生态学的研究中心课题之一,这是可以理解的,因为初级生产力无论在理论上或实践上都具有重大意义,它的高低反映出水域的肥瘠,同时也会影响到渔业的盛衰。过去一般都采用测氧法来测定初级生产力。1952年 Nielsen^[53] 首先采用了同位素 C¹⁴ 测定法。这个方法的优点是:操作简便、测定迅速、结果比较准确,同时也较灵敏,所以适用于浮游植物较少的热带海洋。不过,据 Boropov^[1] 的报导,这两种方法各有利弊,最好能同时应用,以便获得可资比较的材料。因此,关于生产力的测定方法,还值得进一步研究。1957年曾在 Bergen 举行有关海洋生产力研究的国际学术讨论会,测定方法是这个会的讨论重点。最近几年来,在比较大规模的海洋综合调查中,海洋初级生产力的测定都被列为重要调查研究项目之一。通过这些调查,对于生产力的季节变化、垂直分布、以及影响生产力的理化因子、特别是上升流和营养盐,有了进一步的了解。此外,对生产力的基本理论问题,如光合作用,氮、磷和碳的循环等等也已逐渐引起各国学者的重视。

海洋中的某些微量元素(如钼、锰、铁等)或某些生物的代谢产物可能是促进或遏制浮游植物生长繁殖的重要因子。Lucas^[47] 认为某些浮游植物的代谢产物是不利于浮游动物或其它浮游植物的生存,有些浮游植物还可能分泌毒素或抗生素来抑制其它浮游生物的生长繁殖。关于浮游植物分泌有机物(如维生素 B₁₂, 抗生素、毒素等)和无机物(如磷等)问题,最近几年来也进行了一些探索性研究。此外,关于浮游植物和浮游动物的相互关系,特别是在数量上的相反关系,继续引起各国浮游生物学家的研究兴趣。最近 Gibor^[35] 和 Nielsen^[54] 等都曾发表论文,研讨这个问题。他们认为这两类浮游生物的繁殖率和浮游动物及鱼类的摄食率在数量相反关系上起着重要作用。

有关浮游生物生理、生化方面的研究,仍然是浮游生物研究中的一个薄弱环节。在生理研究方面,仅对代谢生理、肌肉及神经生理、发光生理等作了一些零星研究。Bond^[28], Hasler^[40,41], Marshall^[49] 等曾作过哲鳃藻消化酶的研究。Marshall & Orr^[50], Gauld & Raymond^[34], Raymond^[58], Corner^[31] 等曾作过哲鳃藻呼吸率的研究,发现呼吸率受各种外界因素(如食料、光度、温度、含氧量等)的影响,并且和种类及年龄有关。Horridge^[44] 曾作过一系列有关水母肌肉和神经的生理研究。在发光生理方面,Harvey^[39], Nicol^[55] 等作出了显著成绩。他们研究各种刺激对发光的影响,发现发光生理基本上和肌肉收缩生理一致——即刺激愈强,发光愈强,发光的持续时间也越长;经过多次连续刺激以后,也会发生疲惫,而停止发光;须经一定休息时间后,才能恢复发光能力。从发光的机制看来,发光显然受着神经控制。最近 Nicol^[55] 还提出受刺激素控制的可能。

浮游生物生化研究主要是在营养成分和发光质化学方面,Виноградов^[8,67], Виноградова^[10] 等曾在营养成分分析方面作出卓越成绩。一般来讲,浮游甲壳类含有大量蛋白质,最高的可达到70%(干重),并且含量相当稳定。含脂量则有显著的季节变化,如哲鳃藻

的含脂量一般在硅藻繁殖旺季很高。浮游甲壳类的含脂量还有地区上差异，一般在寒带海最高（这和寒带海浮游植物特别丰富有关），而在热带海最少。至于碳水化合物的含量则一般都很低（ $<10\%$ ）。在维生素含量方面，Fisher & Kon^[32,33]，Kon^[19,46] 等作了一系列研究，发现浮游生物含有维生素 A、D、B₁₂，其中以维生素 A 的含量较多，尤以甲壳类中的磷虾类含量最高，被称为海洋维生素 A 的仓库。这种维生素主要集中在它的眼睛里，这可能和它的视觉有关。维生素 A 含量还有季节变化：冬季最低，夏季最高。至于这些维生素的来源问题，尚待继续研究解决。关于萤光素（luciferin）和萤光酶（luciferase）的化学性质方面，也作了不少研究。Tsuji, Chase^[66] 等都认为萤光素必须和同一类动物的萤光酶混合，才能发光。不过，最近据 Johnson^[43] 的研究结果，这个“种的特殊性”的规律也有例外。例如，把一种鱼类天竺鲷（Apogon）和一种介形类海萤（Cypridina）的萤光素和萤光酶混合在一起，也可发出光来。

随着电子显微镜的逐渐推广应用，各类微型和超微型浮游生物的形态研究，有了进一步的发展。近年来 Parke^[56]，Parke & Manton^[57] 等对微型鞭毛虫、及 Kolbe^[20,21] 和 Hendey^[42] 等对硅藻微细结构的研究是值得提出的。

浮游生物在自然界中所表现出来的某些现象，有时单纯依赖生物学研究方法是不容易加以阐明的，而必须借助于现代海洋物理学的新方法和新仪器。例如浮游生物的垂直分布对海水中声的散射的影响，是一个有赖于浮游生物学家和海洋物理学家共同协作解决的问题。又如海水中声散射层的发光现象，Kampa 和 Boden^[45] 等应用了电记录深海光度计（telerecording bathyphotometer）来测定声散射层发光的强度、频率和颜色，看出声散射层的发光率是随着声散射层逐渐向上移动而逐渐增高。黄昏时分，发光率最高，声散射层也向上移动到相当高的位置。可是，入夜以后，声散射层放光现象常常消失。这可能是由于发光浮游动物分散到各水层，致使浮游生物的密集程度不足以形成声散射层，或者是声散射层已上移到最表层，致使所用仪器不易测出。在这方面，Moore^[52] 也曾作过研究，他发现声散射层是与磷虾的密集层密切相关。

总的看来，现代海洋浮游生物学的研究是偏重于自然生态，主要是研究浮游生物在时间和空间上的数量变动及其与海洋环境（物理的、化学的和生物的）的关系，企图掌握其分布规律，为开发海洋水产资源，寻找鱼群、渔场以及渔情预报提供科学依据。在这方面，苏联已经走在世界的最前列。通过十多年的连续海洋综合调查，它在季节分布（特别是生物季节问题）、平面分布（特别是生物地理区划问题）和垂直分布（特别是深海浮游动物的垂直分布问题）研究上，都取得了卓越成绩。这些成绩的获得是和苏联学者具有浮游生物和海洋环境为统一整体的观点及采取与实践密切结合的研究方法分不开的。近年来，在实验生态和个体生态方面也有显著进展，前者主要研究昼夜垂直移动、初级生产力等问题，后者主要研究几种重要饵料甲壳动物，特别是哲镖蚤和磷虾。在这些研究方面，英、美似走在其他国家的前面。看来实验生态和个体生态有与自然生态相辅发展的趋势，将来有汇合成为综合生态学的可能。这是可以理解的，因为自然生态现象必须通过实验生态和个体生态研究才能加以阐明。可是，生理、生化研究仍然远远落在后面，迄今还基本停留在代谢生理和营养分析上。这是海洋浮游生物研究现状的总的情况。

我国浮游生物学研究，解放前仅在硅藻和原生动物方面做了一些分类工作。解放后，

通过沿海渔场和港湾调查以及海洋综合调查,浮游生物生态研究获得了迅速的发展;特别是在1958年开始全国海洋综合调查以后,我国浮游生物的研究面貌才起了根本变化——从分类转向生态。几年来,在自然生态方面,已经积累了一些比较有系统性的基本资料。通过对这些资料的初步整理与分析,对我国近海浮游生物的群落组成,主要种类的数量分布等基本情况,已有了概括的了解。但是,由于基础薄弱,对一些重大理论问题,尚未能很好地加以解决。

根据世界浮游生物学的发展趋势,和从我国的实际情况出发。今后,我国浮游生物学的发展,首先应加强浮游生物学基础理论的研究,同时仍应继续走理论联系实际的正确道路。在基础理论研究方面,应加强自然生态学的研究,了解我国浅海浮游生物的数量变动及分布规律是进一步发展我国浮游生物学的最基本问题。今后,一方面应将全国现有的生态资料加以分析、总结,并继续以统一的定量研究方法有系统的积累全国各海区的资料;另一方面,分类区系是研究生态学的理论基础,必须安排一定力量从事我国各海区浮游生物的分类及区系研究。对某些在数量变动中起着主导作用的优势种类,尤其是主要饵料生物如硅藻类的圆筛藻、骨条藻等和甲壳动物的磷虾类、挠足类和浮游端足类等,应积极开展个体生态的研究。初级生产力和食物链是海洋生物学的基本理论问题,必须迅速开展研究。生理、生化研究也必须尽早开始。在结合渔业生产方面,应继续调查沿海主要渔场浮游生物的种类组成和数量分布,为渔情预报提供科学依据,并寻找可以作为追踪鱼群和探索新渔场的指标种。此外,如发光浮游生物和海流指标种的生态生理研究,以及浮游生物垂直分布和温、盐、跃层或声散射层关系的研究等等,都应特别加以重视。

在解放后的短短十多年中,由于党的大力支持和浮游生物工作者的共同努力,已经初步改变了我国浮游生物学研究的面貌,在分类、生态方面也打下了初步基础。今后,仍需安排一定力量,进行分类工作和继续加强生态研究,同时还要积极开展生理、生化研究,以期迅速提高我国浮游生物学研究的水平。

参 考 文 献

- [1] 波戈罗夫, В. Г., 1958. 海洋浮游生物调查方法的标准化. 海洋与湖沼 1 (1): 1—26.
- [2] Беклемишев, А. В., 1954. Питание некоторых массовых копепоид в дальневосточных морях. Зоол. журн., 33 (6).
- [3] ———, 1959. К анатомии жевательного аппарата копепоид. Тр. Ин-та океанол., 30: 148—155.
- [4] Бирштейн, Я. А., и др., 1956. Вертикальное распределение планктона Курило-Камчатской впадины. Тр. Тргов. и Тем. Сов. Зн., 6: 17.
- [5] Богоров, В. Г., 1948. Вертикальное распределение зоопланктона и вертикальное расчленение вод океана. Тр. Ин-та океанол., 2.
- [6] Бродский, К. А., 1952. Фауна веслоногих рачков (калявиды) и зоогеографическое районирование северной части Тихого океана. Диссертация.
- [7] ———, 1962. Опыт биометрического анализа морфологического изменчивости *Calanus pacificus* Brodsky (Copepoda). Докл. АН СССР, 142 (6): 1416—1419.
- [8] Виноградов, А. П., 1935. Химический состав планктона. Тр. Биогеохим. Лабор. АН СССР, 3.
- [9] Виноградов, М. Е., 1954. Суточные вертикальные миграции зоопланктона дальневосточных морей. Тр. Ин-та океанол., 8: 164—199.
- [10] Виноградова, З. А., 1957. Биохимический состав планктона Черного моря. Докл. АН СССР, 116 (4).
- [11] Гейнрих, А. К., 1961. Сезонные явления в планктона Мирового океана. 1. Тр. Ин-та океанол., 35: 1—10.

- нол., 51.
- [12] ———, 1961. Сезонные явления в планктоне Мирового океана. II. *Океанол.*, 1 (3): 485—497.
- [13] Гейрих, А. К., 1961. О вертикальном распределении и суточных миграциях копепоид в районе к юго-востоку от Японии. *Тр. Ин-та океанол.*, 51.
- [14] Пономарева, Л. А., 1955. Питание и распределение эуфаузиид Японского моря. *Зоол. Журн.*, 34 (1): 85—97.
- [15] ———, 1956. Эуфаузииды Японского моря. *Тр. Тргов. и Тем. Сов. Зин.*, 6: 46.
- [16] ———, 1959. Зуфаузииды Охотского и Берингова морей. *Тр. Ин-та океанол.*, 30: 115—147.
- [17] Яшнов, В. А., 1955. Морфология, распространение и систематика *Calanus finmarchicus*. *Зоол. Журн.*, 34 (6).
- [18] ———, 1961. Водные массы и планктон. I. *Зоол. Журн.*, 40 (9): 1314—1334.
- [19] Kon, S. K., 1954. Vitamin A des invertebrates marins et metabolisme des carotenoides du plancton. *Bull. Soc. Chem. Biol.*, 36: 209—225.
- [20] Kolbe, R. W. 1948. Elektronenmikroskopische Untersuchungen von Diatomeenmembranen. I. *Ark. Bot.*, 33A (17): 1—21.
- [21] ———, 1951. Elektronenmikroskopische Untersuchungen von Diatomeenmembranen. II. *Sevesk. Bot. Tidskr.*, 45: 636—647.
- [22] Abbot, B. C. and D. Ballantine, 1957. The toxin from *Gymnodinium veneficum*. *Jour. Mar. Biol. Assoc.*, 36: 169—189.
- [23] Bieri, R., 1959. The distribution of the planktonic Chaetognatha in the Pacific and their relationship to the water masses. *Limnol. and Oceanogr.*, 4(1): 1—28.
- [24] Bogorov, B. G., (Богоров, В. Г.) 1941. Biological seasons in the plankton of different seas. *Comptes Rendus de l'Acad. Sci. de l'USSR*, 31(4): 404—407.
- [25] ———, 1946. Peculiarities of diurnal vertical migration of zooplankton in polar seas. *Jour. Mar. Res.*, 6(1): 25.
- [26] ———, 1958. Biogeographical regions of the plankton of the Northwestern Pacific Ocean and their influence on the deep sea. *Deep Sea Res.*, 5: 149—161.
- [27] ———, 1960. Perspectives in the study of seasonal changes of plankton and of the number of generations at different latitudes. In: A. A. Buzzati-Traverso, "Perspectives in Marine Biology," Univ. Calif. Press, Berkeley and Los Angeles: 137—145.
- [28] Bond, R. M., 1934. Digestive enzymes of the pelagic copepod, *Calanus finmarchicus*. *Biol. Bull.*, 67: 461—465.
- [29] Bradshaw, J. S., 1959. Ecology of living planktonic Foraminifera in the North and Equatorial Pacific Ocean. *Contr. Cushman Found. Foram. Res.*, 10(2): 25—64.
- [30] Bumpus, D. F. and E. L. Pierce, 1955. The hydrography and the distribution of chaetognaths over the continental shelf of North Carolina. *Deep Sea Res.*, 3: 92—109.
- [31] Corner, E. D. S., 1961. On the nutrition and metabolism of zooplankton. *Jour. Mar. Biol. Assoc.*, 41: 5—16.
- [32] Fisher, L. R. R. and S. K. Kon, 1955. Vitamin A and carotenoids in certain invertebrates. III. Euphausiacea. *Jour. Mar. Biol. Assoc.*, 34: 81—100.
- [33] ———, 1959. Vitamin A in the invertebrates. *Biol. Rev.*, 34(1): 1—37.
- [34] Gauld, D. T. and J. E. G. Raymont, 1953. The respiration of some planktonic copepods. II. *Jour. Mar. Biol. Assoc.*, 31: 447—460.
- [35] Gibor, A., 1956. Some ecological relationships between phyto- and zooplankton. *Biol. Bull.*, 111: 230—234.
- [36] Hansen, K. V., 1951. On the diurnal migration of zooplankton in relation to the discontinuity layer. *Jour. du Conseil*, 17: 231—241.
- [37] Hardy, A. C. and R. Bainbridge, 1954. Experimental observations on the vertical migration of plankton animals. *Jour. Mar. Biol. Assoc.*, 33(2): 409—448.
- [38] Harris, J. E. and U. K. Wolfe, 1955. A laboratory study of vertical migration. *Proc. Roy. Soc.*, ser. B, 144: 329—354.
- [39] Harvey, E. N., 1952. Bioluminescence. Academic Press, New York.
- [40] Hasler, A. D., 1935. The physiology of digestion of plankton crustacea. I. *Biol. Bull.*, 68: 207—214.

- [41] ———, 1937. The physiology of digestion of plankton crustacea. II. *Biol. Bull.* **72**: 290—298.
- [42] Hendey, N. J., et al., 1952. Electron microscope studies of diatoms. *Jour. Roy. Micr. Sci., Soc.*, Ser. III, **74**(1): 22—35.
- [43] Johnson, F. H., et. al., 1960. An interphylum luciferin-luciferase reaction. *Science*, **132** (3424): 422—423.
- [44] Horridge, G. A., 1954—1959. The nerves and muscles of medusae. I-IV. *Jour. Exp. Biol.*, 31—34.
- [45] Kampa, E. M. and B. P. Boden, 1957. Light generation in a sonic scattering layer. *Deep Sea Res.*, **4**(2): 73—92.
- [46] Kon, S. K., 1960. Some thoughts on biochemical perspectives in marine biology. In: A. A. Buzzati-Traverso, "Perspectives in Marine Biology," Univ. Calif. Press, Berkeley and Los Angeles; 283—295.
- [47] Lucas, C. E., 1955. External metabolites in the sea. *Deep Sea Res.*, **3**: 139—148.
- [48] Marshall, S. M. and A. P. Orr, 1955. The biology of a marine copepod, *Calanus finmarchicus* (Gunnerus). Oliver and Boyd, London.
- [49] ———, 1955. On the biology of *Calanus finmarchicus*. VII. Food uptake, assimilation, and excretion in adult and stage V *Calanus*. *Jour. Mar. Biol. Assoc.*, **34**(3): 495—531.
- [50] ———, 1958. On the biology of *Calanus finmarchicus*. X. Seasonal changes in oxygen consumption. *Jour. Mar. Biol. Assoc.*, **37**: 459—472.
- [51] ———, 1960. On the biology of *Calanus finmarchicus*. XI. Observations on vertical migration especially in female *Calanus*. *Jour. Mar. Biol. Assoc.*, **39**(1): 135—147.
- [52] Moore, H. B., 1950. The relation between the scattering layer and the Euphausiacea. *Biol. Bull.* **99**: 181—212.
- [53] Nielsen, S. E., 1952. The use of radio-active carbon (C^{14}) for measuring organic production in the sea. *Jour. du Conseil*, **18**: 117—140.
- [54] ———, 1958. The balance between phyto- and zooplankton in the sea. *Jour. du Conseil*, **23**.
- [55] Nicol, J. A. C., 1960. The regulation of light emission in animals. *Biol. Rev.*, **35**(1): 1—43.
- [56] Parke, M., 1949. Studies on marine flagellates. *Jour. Mar. Biol. Assoc.*, **28**: 255—286.
- [57] Parke, M., J. Manton, and B. Clarke, 1955—1959. Studies on marine flagellates. I-IV. *Jour. Mar. Biol. Assoc.*, **34**—38.
- [58] Raymond, J. E. G., 1959. The respiration of some planktonic copepods. *Limnol. and Oceanogr.*, **4**: 479—491.
- [59] Russell, F. S., 1939. Hydrographical and biological conditions in the North Seas as indicated by plankton organisms. *Jour. du Conseil*, **14**(2): 171—192.
- [60] Sund, P. N. and J. A. Renner, 1959. The chaetognaths of the Eastropic Expedition with notes as to their possible value as indicators of hydrographic conditions. *Intern. Amer. Tropical Tuna Comm., Bull.*, **3**(9): 396—436.
- [61] Tham, A. K., 1950. The food and feeding relationships of the fishes of Singapore Straits. *Colonial Office Fish. Publ.*, **1**(1). London.
- [62] ———, 1953. A preliminary study of the physical, chemical and biological characteristics of Singapore Strait. *Colonial Office Fish. Publ.*, **1**(4): London.
- [63] Tokioka, T., 1957. Chaetognaths collected by the Soyo-Maru in the years 1934 and 1937—1939. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **6**(2): 137—146.
- [64] ———, 1959. Observations on the taxonomy and distribution of chaetognaths of the North Pacific. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.* **7**(3): 350—454.
- [65] ———, 1960. Studies on the distribution of appendicularians and some thaliaceans of the North Pacific with some morphological notes. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **8**(2): 351—443.
- [66] Tsuji, F. I., A. M. Chase, and E. N. Harvey, 1955. Recent studies on the chemistry of *Cypridina luciferin*. In: F. H. Johnson, "The Luminescence of Biological Systems," *Amer. Assoc. Advancement of Science*, Washington, D. C.: 127—156.
- [67] Vinogradov, A. P., (Виноградов, А. П.) 1938. Chemical composition of marine plankton. *Trans. Inst. Mar. Fish. & Oceanogr.*, U.S.S.R., **2**: 97—112.
- [68] Waterman, T. H., 1960. Polarized light and plankton navigation. In: A. A. Buzzati-Traverso, "Perspectives in Marine Biology," Univ. Calif. Press, Berkeley and Los Angeles: 429—450.
- [69] Zenkevitch, L. A., (Зенкевич, Л. А.) 1960. Immediate problems in the development of marine biology. In: A. A. Buzzati-Traverso. "Perspectives in Marine Biology," Univ. Calif. Press, Berkeley and Los Angeles: 27—33.