

光照时间和水温对浮游植物生长影响的初步剖析——以胶州湾为例^{*}

THE PRELIMINARY DISSECTION OF THE DAY-TIME LENGTH AND WATER TEMPERATURE EFFECTS ON THE PHYTOPLANKTON GROWTH

杨东方^{1,2,3} 高振会² 王培刚² 孙培艳² 李钦亮²

(¹ 上海水产大学渔业学院 200090)

(² 国家海洋局北海监测中心 青岛 266033)

(³ 国家海洋局第一海洋研究所海洋生态环境科学与工程国家海洋局重点实验室 青岛 266061)

能语言是一般描述系统的一种方法,因为所有现象都伴随着能的转化^[6]。整个世界生态系统的功能几乎毫无例外地取决于海洋植物光合作用固定的能量。其中,大量的能量是由生活在海洋有光照的表层水中的微小浮游植物固定的^[8]。因此,作者以胶州湾为例,尝试考虑太阳的热能给水体的能量

输入及对水体生态系统浮游植物的生长过程的影响,认为光不仅是浮游植物的光合作用的能源而且是水体贮藏热能来提高水温的来源。本文用模型框图进行分解讨论光照时间、水温对浮游植物生长的影响过程,以阐释胶州湾光照时间、水温影响初级生产力时空变化的综合机制,更好地了解光照时间

影响初级生产力的生态现象原

* 本课题为国家海洋局北海监测中心主任科研基金项目、国家自然科学基金项目40036010号和上海水产大学科研基金共同资助

第一作者:杨东方,出生于1962年,教授,研究方向:海洋生物学、生态学,E

mail: dfyang@shfu.edu.cn

收稿日期:2002-01-05;

修回日期:2002-05-20



因。通过光照时间、水温,描述了随着时间的变化环境因子影响初级生产力的变化过程。

1 光辐射、光照时间对浮游植物生长的影响

1.1 步骤 1

浮游植物在太阳光作用下进行有机物生产,形成初级生产力。海洋浮游植物通过光合作用,利用光能同化无机碳的过程是整个海洋生态系统物质循环和能量流动的基础。海洋浮游植物的光合作用是海洋生态系统中各生物类群的物质和能量来源。光在海洋中随着深度的增加是呈指数衰减的,这使得光在许多情况下成为海洋中浮游植物光合作用最主要的限制因子。

1.2 步骤 2

光合作用包括两个过程,即光化学过程与酶催化过程^[9]。浮游植物光合作用的酶催化过程一直受到光照时间长短的影响。光辐射和光照时间分别决定了浮游植物光合作用的光化学过程与酶催化过程^[21]。

1.3 步骤 3

光的辐照度和波长是影响初级生产力的主要参数^[14,17]。光对海洋中化学反应的直接效应,主要是影响生物的代谢作用,即影响其光合作用和色素形成。

1.4 步骤 4

温度是一切酶促反应的控制因子,它对光合作用的初光反应过程影响不大,对暗反应的诸酶促反应过程的影响很大^[9],因此水温与初级生产力的关系密切。Eppley 1972 年在实验室研究浮游植物生长速率与温度的关系发现碳同化数与温度呈对数相关。Williams 与 Murdoch 1966 年、Mandelli 等 1970

年、Takahashi 等 1973 年、Durbin 等 1975 年以及 Harrison 和 Platt 1980 年都发现海洋沿岸水域浮游植物的碳同化数与温度的关系显著。

许多学者研究表明,在藻类生长的适宜温度范围内,藻类生长随着水温升高而加快。同时,浮游植物光合作用中酶催化过程的速度也受温度影响。因而,可以说水域初级生产力的变化受水温的影响较大^[2]。

代谢作用的速率,随着温度的上升而加快。根据 Van't Hoff 定律,在一定范围内温度每上升 10℃,代谢作用的速率增加 2~3 倍^[7]。

1.5 步骤 5

在一定范围内,较长的光照时间有利于光色素对光的吸收,所以较长的光照时间对提高初级生产力有着明显的影响。因此,光照时间即昼长也是影响水域初级生产力的因子^[2]。根据胶州湾 1991 年 5 月至 1994 年 2 月光照时间、水温观测数据进行分析,表明光照时间的变化和周期控制着水温的变化和周期。同时建立了相应的有光照时间时滞——水温动态模型,发现将每年光照时间的周期变化向后推移两个月,得到了与水温变化的周期耦合^[21]。

1.6 步骤 6

当光照充足时,光合作用的速度与温度呈正相关^[16,18]。在光照充足的条件下,光照时间引起水温升高,加速了光合作用,符合自然界的一般规律^[13,17]。

通过上述 6 个步骤(图 1),作者认为在一定范围内,较强的光辐射和较长的光照时间对提高初级生产力是有着明显的影响^[21]。

2 光照时间影响水温的探讨

影响海水温度变化的因素众

多,人们主要考虑的是太阳辐射强度的变化、热量向海底的传递过程、海水交换以及陆地的影响等,但对光照时间影响水温的变化考虑较少。

在胶州湾,海水增温过程和降温过程的热量传递方式是不同的。增温是由于表层热量以涡动方式传向深层,这一过程需要较长时间,因此海水温度出现分层现象。降温过程主要是由于表层海水的冷却对流再加以风的搅拌作用,相对来说需时较短。因此,降温期各层水温基本相同^[4]。在海水增温、降温过程中胶州湾内水域还不断和外海水进行交换,也就是热能量在不断地交换。

因胶州湾是一个平均水深为 7 m 左右的浅水海湾,营养盐含量较丰富,上、下层海水混合良好,故不存在不同水层透过不同波长色光的影响^[1]。根据胶州湾初级生产力与水温成紧密正相关的统计结果,也可说明胶州湾一年中的光照基本上是充足的,可保证浮游植物光合作用正常进行^[1]。这样,无须考虑光辐射、光化学过程对浮游植物的光合作用的影响,只需考虑步骤 6。

用模型框图分解光照时间影响水温的过程并进行分析,以胶州湾为例^[21],有 5 个模型框图(图 2~图 6)。

从光照时间来考虑对水温的影响,光照时间是阳光对海水水体加温的时间长短,也是决定对水体输入的热能多少,对于水体,只考虑输入水体热能的光照时间和水体的温度变化,不考虑水体内的海水增温、降温过程以及与外海水交换的过程(图 2)。

从湾顶到湾中、湾口和湾外,光照时间与两个月后水温变化的相关系数逐渐提高,即湾顶的相关系数 0.96 到湾中的 0.98 再到湾口、

湾外的 0.99。这表明离岸远,水体深,其光照时间完全决定其水体的水温变化;而离岸近,水体浅,光照时间决定其 2 个月后水温变化的 92%,其陆地对邻近水体水温影响仅仅 8%(图 3)。

光照时间时滞——水温模型简单地描述了光照时间变化和周期控制着水温的变化和周期,通过光照时间,海水积累 2 个月能量,使其海水温度提高。胶州湾光照时间的变化确定着海水温度变化。从胶

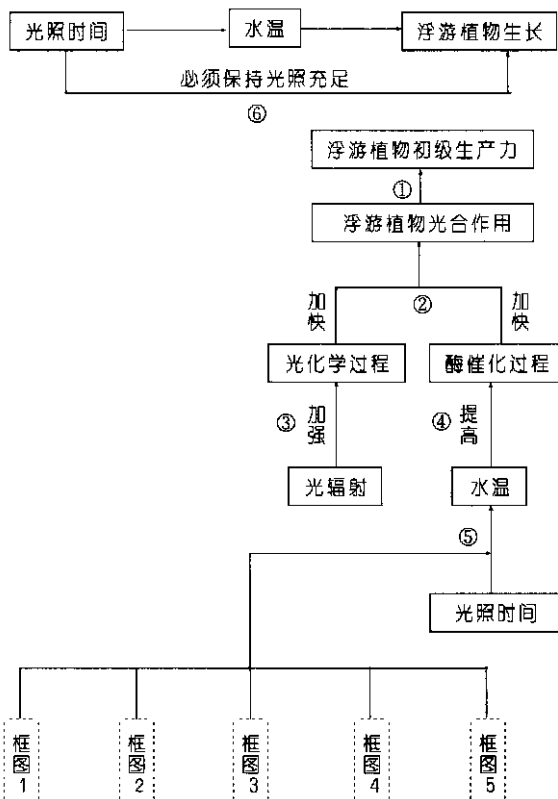


图 1 光辐射、光照时间对浮游植物生长的影响过程

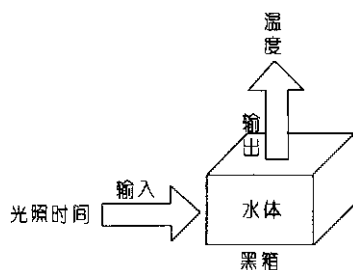


图 2 输入水体热能的光照时间与输出水体的温度变化(框图 1)

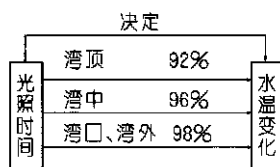


图 3 光照时间决定 2 个月后水体温度的变化(框图 2)

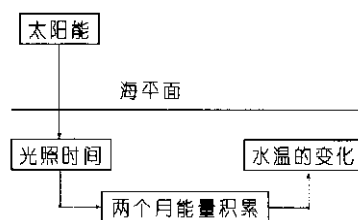


图 4 光照时间时滞-水温模型框图(框图 3)

州湾的光照时间时滞-水温的动态模型方程可知,当光照时间变长,能量输入增多,两个月后的水温增加;当光照时间变短,能量输入减少,两个月后水温降低。

光照时间决定着太阳辐射能对海水水体的净输入能,被吸收的太阳辐射能变成了海水的热能,当热能使海水的水温升高或降低,这个过程由分子热传导和涡动热传导完成。在胶州湾,海水的热传导过程需要 2 个月的时间。这样,海水水体经过 2 个月的时间,光照时间作用于水温变化,于是,在胶州湾,光照时间要经过 2 个月的时间才能影响到浮游植物的光合作用。光照时间通过水温控制 2 个月后的浮游植物生长的速率,这不需要考虑水体内的海水增温、降温过程以及与外海水交换的过程(图 4)。

通过光照时间时滞-水温的动态模型,计算出光照时间转化成海水温度的转化率 a 为 $4.15 \sim 4.69 \text{ }^{\circ}\text{C/h}$, 2 个月后海水为 $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的光照时间临界值 b 为 $8.85 \sim 9.19 \text{ h}$ 。 a 表示经过单位光照时间,2 个月后水温上升的度数,作者简称为光照时间转化成海水温度的转化率。胶州湾 a 值的范围为 $4.15 \sim 4.69 \text{ }^{\circ}\text{C/h}$ 。在胶州湾,每增加 1 h 光照时间,2 个月后水温就上升 $4.15 \sim 4.69 \text{ }^{\circ}\text{C}$;每减少 1 h 光照时间,2 个月后水

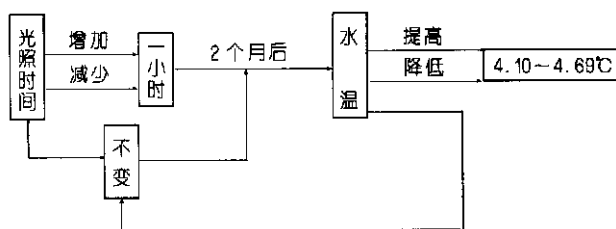


图5 光照时间转化成水温的转化率(框图4)

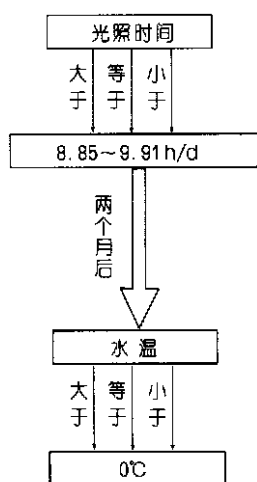


图6 光照时间的临界值(框图5)

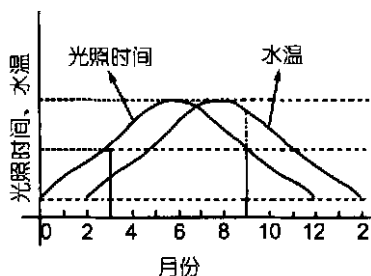


图7 光照时间和水温的动态曲线

温就下降 $4.15 \sim 4.69^{\circ}\text{C}$; 当光照时间不变时, 2 个月后水温也保持不变(图5)。

在胶州湾光照时间的最低值为 9.7 h , 水温也在 2°C 以上, 但从光照时间时滞-水温的动态模型中, 如果光照时间降至 $8.85 \sim 9.19\text{ h}$, 2 个月后, 水温降到 0°C 。作者简称这个光照时间对于 2 个月后海水

为 0°C 的临界值为 b 值(图6)。

根据渤海的纬度、光照时间和此模型中的转化率 a 、临界值 b , 计算出渤海水域水温为 0°C 的结冰日期, 水域的水温达到了 0°C 的纬度值和渤海冬夏季水温的变化值, 这些与实际观测值相一致。这证实了参数转化率 a 和临界值 b 的可靠性。通过纬度为 30° 的黄河、东海的冬季光照时间和参数 a 和 b , 计算出此水域的水温, 该水温和黑潮水温的平均值与实际水温相一致。

3 光照时间通过水温影响初级生产力

光照时间的增加或减少, 使太阳光能通过海水进行 2 个月的能量积累, 使其海水温度具有相应的提高或降低, 并且当光照时间达最长和最短时, 2 个月后, 海水温度达到最高和最低。说明海水温度变化滞后于光照时间变化两个月。表明具有相同光照时间的不同时期, 2 个月后, 却具有不相同的水温, 而且, 水温相差甚大。在水温相差很大的情况下, 浮游植物的生长过程也不相同, 其初级生产力也相差很大。因此, 在相同光照时间的期间内, 浮游植物的初级生产力通常不一样, 相差很大(图7)。

3.1 光照时间和水温对初级生产力的影响

胶州湾是一个平均水深只有

7 m 的浅水湾, 根据胶州湾初级生产力与水温成紧密正相关的统计结果, 也可说明胶州湾内一年中的光照基本上是充足的, 可保证浮游植物光合作用的正常进行^[1]。根据步骤6, 在自然界光照充足的条件下, 水温的变化是由光照时间的变化来确定的, 以此来讨论光照时间对初级生产力的影响。于是根据步骤5, 讨论光照时间、水温对浮游植物初级生产力的影响时, 只需考虑两个月后的水温对浮游植物生长的影响。这也解释了以下生态现象: (1) 春季4、5月, 虽昼长也达 13 h 以上, 初级生产力却只有 $200\text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 而10月昼长虽较夏季缩短 2.9 h , 其生产力却高达 $730\text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。(2) 3月底和10月上旬的昼长都是 12 h , 而初级生产力则相差 4.7 倍^[1]。水温滞后于光照时间2个月, 在春季4、5月份, 虽昼长也达 13 h 以上, 但它的作用要通过2个月才表现在6、7月份的水温上, 而春季4、5月份的水温由两个月前的2、3月份的光照时间来确定, 同样, 在10月昼长所作用的水温是12月份的, 而10月份水温是由两个月前的8月份的光照时间来确定。这样, 2、3月份的光照时间比8月份的光照时间要短的多, 因此, 4、5月份的水温比10月份的水温低的多。当光照充足时, 光合作用速度与温度成正相关。那么, 4、5月份的光合作用速度比10月份的光合作用速度要低的多。所以, 根据光照时间和光合作用速度, 4、5月份的初级生产力比10月份的初级生产力要低的多。这也表明当时的光照时间不能直接影响浮游植物的生长, 要通过水温经过两个月时间才能影响浮游植物的生长^[2]。

4 结论

通过模型框图, 可清楚地了解



光照时间、水温、酶催化过程、光辐射、光化学过程、光合作用和初级生产力之间的关系,可形象地说明光照时间影响水温和水温影响浮游植物生长的机制和过程。

数学模式如,浮游植物生长能量平衡模型、颗粒垂直通量模型等的作用在于它对新的概念、新的观点以及一些生态现象给予清晰的描述。它的应用对于可能的基本原理提供有用的启发,而且有时会产生出乎意料的结果和对一个生态学问题的形成新的认识^[1]。

对于复杂系统,要有一个总体方案,即创造一个通俗易懂的模型,来分解这个系统,使之成为简单的组分或子系统;通过描述每一个子系统的特性,来研究各系统之间的相互作用。这个相互作用的模式研究是通过数学模型、逻辑推理和自然规律的有机结合,尤其数学模型可以用于解释、预测和监控系统的全面特性,量化表明各个子系统的关系和作用。总体方案使系统中的各个子系统的变化过程变得显而易见。

本文对光照时间、水温和初级生产力之间模型框图的进行了剖析,希望有更多的科学工作者能够了解和利用这个方法,促进生物数学学科的发展。

参考文献

- 1 郭玉洁、杨则禹。胶州湾的生物环境:初级生产力。见:刘瑞玉主编。胶州湾生态学和生物资源。北京:科学出版社,1992。110~125

- 2 吴玉霖、张永山。胶州湾叶绿素 a 和初级生产力的分布特征。见:董金海、焦念志 主编。胶州湾生态学研究。北京:科学出版社,1995。137~150
- 3 沈国英、施并章编著。海洋生态学。厦门:厦门大学出版社,1990。67~123
- 4 翁学传、朱兰部、王一飞。物理海洋学:水温要素的结构和变化。见:刘瑞玉主编。胶州湾生态学和生物资源。北京:科学出版社,1992。33~37
- 5 杨东方、詹滨秋、陈豫等。生态数学模型及其在海洋生态学应用,2000,海洋科学,6:21~24
- 6 H.T.奥德姆著,蒋有绪、徐德应等译。系统生态学。北京:科学出版社,1993。3~16
- 7 H.U.斯菲德鲁普、M.W.约翰逊、R.H.佛莱明著,毛汉礼译。北京:海洋出版社,1959。665~676
- 8 J.W.尼贝肯著,林光恒、李和平译。海洋生物学——生态学探讨。北京:海洋出版社,1991。46~52
- 9 E.斯蒂曼-尼耳森著,周百成、温宗存译。海洋光合作用。北京:科学出版社,1979。5~10,96~102
- 10 Durbin E.C., Krawiec R.W., Smayda T.J.. 1975, Seasonal studies on the relative importance of different size fractions of phytoplankton in Narragansett Bay(USA), *Mar. Biol.*, 1975, 32(3): 271~281
- 11 Eppley R.W.. Temperature and phytoplankton growth in the sea, *Fish. Bull.*, 1972, 70(4): 1063~1085
- 12 Harrison S.W. and Platt T.. Variations in assimilation number of coastal marine phytoplankton: Effects of environmental covariates, *J. Plankton Res.*, 1980, 2(4): 249~260
- 13 Jeffery S.W., Hupehery G.P.. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c and c₂ on higher plant, algae and natural phytoplankton, *Biochem. Physiol. Pflanzen*, 1975, 107:191~194
- 14 Lursinsap A. et al.. Proceedings of the 3rd CSK Symposium 1972. Bangkok Press, 1974. 339~364
- 15 Mandelli E.F., Burkholder P.R., Doheny T.E. et al.. Studies of primary productivity in coastal waters in southern Long Island, *Mar. Biol.*, 1970, 7:153~160
- 16 Postma H., Rommets J.W.. Primary production in the Wadden Sea Netherlands, *J. Sea Res.*, 1970, 4(4): 470~493
- 17 Ryther J.H., Yentsch C.S.. Primary production of continental shelf waters off New York, *Limnol. Oceanogr.*, 1958, 3: 327~335
- 18 Ryther J.H.. Photosynthesis and fish production in the sea, *Science*, 1969, 166:72~76
- 19 Takahashi M., Fujii K. and Parsons T.R.. Simulation study of phytoplankton photosynthesis and growth in the Fraser River Estuary, *Mar. Biol.*, 1973, 19:102~116
- 20 Williams R.B. and Murdoch M.B.. Phytoplankton production and chlorophyll concentration in the Beaufort Channel, North Carolina, *Limnol. Oceanogr.*, 1966, 11(1): 73~82
- 21 Yang Dongfang, Zhang Jing, Zhou Zhigang. Effect of daytime and water temperature on growth of phytoplankton in Jiaozhou Bay, *Chinese Journal of Shanghai Fisheries University*, 2001, 10: 23~34

(本文编辑:张培新)