

淡水浮游植物气候生产力的 生态模拟与地理分布

刘乃壮

张永红

(南京气象学院 210044)

(陕西省渭南市气象局 714000)

提 要 根据能量平衡原理, 在应用 Talling 公式计算浮游植物日光合生产力的基础上, 提出了模拟计算年光合生产力及通过水温订正后得出其气候生产力的方法。用上述方法联系我国湖泊一般特性, 计算了在理想条件下我国大陆东侧 36 个点淡水光合生产力的季节变化及气候生产力的地理分布。东部淡水水域的年气候生产力大致呈纬向分布由南向北递减, 这与大气光合有效辐射、年日照时数和水温的时空变化有密切关系。各地的气候生产力在 $1.6 \sim 24.4 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{年}$ 之间, 与世界相近气候下贫营养湖的浮游植物生产力大致相当。只是东北北部偏低, 主要原因是浮游植物有效生长期太短。此外, 四川盆地的气候生产力亦低, 主要原因则是夏秋两季光合生产力过低。

关键词 浮游植物, 光合生产力, 气候生产力, 地理分布

在现代农学中生产潜力问题已日益引起人们的关注。这是对生态系统深入研究合乎逻辑的发展, 是面对着人口急剧增长与耕地资源有限尖锐矛盾的存在, 需要从理论上阐明各种生态系统的产量上限及其与现时的差距, 以便合理利用自然资源提高投入效益这一紧迫课题推动的产物。80 年代以来我国土地生产力的研究相当活跃^[1,2], 水产生发展很快, 其大范围自然资源生产潜力的研究亦应提到日程上来。水产业的最初能量和营养物质均来源于水生植物的光合作用, 而水下植物的光合作用与生长环境仅受大气因子的间接作用, 监测难度大。近年来我国对某些湖泊的初级生产力做过观测分析^[3,4,5], 然而由于这些以取样实测为基础研究方法的局限性, 其成果尚难有效的应用于大面积生产, 渔业区划也缺乏系统的初级生产力论据。本文试从气候生态学角度对我国大陆东部诸淡水水域的光合生产力和气候生产力进行初步估算, 探讨它们的分布趋势, 以期有助于了解它们与气候条件的关系, 为进行水产业规划布局中因地制宜的考虑气候资源提供参考。

研究思路

任意水域的初级生产力均是水体特定物理特性、化学特性和生物学特性的函数, 并且与土地生产力相似, 以光、热、水气候资源的综合生产力为基础。不过, 在水中进行的物质生产过程不存在受水分盈亏影响的问题, 于是水体的气候生产力应该可以用其光温生产力表征。

本文的计算水体光温生产力是根据能量平衡和光合生态的动力学原理进行的。首先

从分析太阳辐射能量进入浮游植物光合生产的有效数量入手,为此需要计算各地随纬度和季节而变化的太阳辐射能量进入水体的有效率,该有效率主要随各地太阳辐射水平和入射角而不同。由于水面对入射太阳辐射(E)有较强反射能力,太阳对水面的入射天顶角愈大则反射率(r)愈大。根据太阳高度角公式和 Fresnel 方程^[8]可以求得任意地区与时刻透过水表面向下的辐射分量 $E_d(0)$, $E_d(0) = E(1-r)$ 。计算日光合生产力时,水面对大气太阳辐射的反射率和水下有效辐射均取自日出至日落的白昼平均值 \bar{r} 与 $\overline{E_d(0)}$ 。

第二步,考虑到植物生长季内进入水中的光合有效辐射还将在浮游植物与非浮游植物物质体(包括水内各种溶解成分的分子与非生物性悬浮微粒等)之间存在着再分配,浮游植物对光量子的吸收总量既决定于自身浓度,又与其它物质浓度有关^[8]。对理想条件下浮游植物的光合能力可以建立数学模式,为使实践中应用方便,该模式应力求不含有过多的

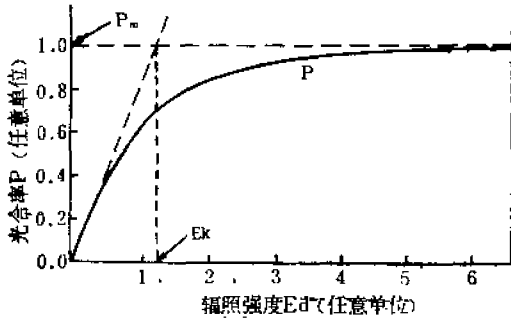


图1 浮游植物光合率与辐照强度的关系

P_m 为最大光合率, E_k 为光饱和始点辐照度(引自 Kirk, 1983)

Fig.1 Idealized curve of specific photosynthetic rate (P) as a function of irradiance (E_d), illustrating the maximum photosynthetic rate, P_m , and the saturation onset, E_k (from Kirk, 1983)

参数项。确定各地适宜的参数值代入模式,可求得在最适温度下不同地区、不同季节的浮游植物光合生产力。模式计算所需的浮游植物最大光合率 P_m 由下述方法给出:已知浮游植物的光合率 P 随辐射强度 E_d 的变化呈曲线关系,如图1所示^[8],光饱和点时达到最大光合率 P_m ,而随着光强增加产生的相关线逐渐弯曲段是光抑制相应增强的结果。在低光强下光抑制几近于零,故有一段过程 P 随 E_d 的增大只呈线性增长。现将该直线段外延,其虚线与 P_m 水平线交点对应的辐

射值,是为不存在光抑制时的光饱和点 E_k ,该直线的斜率 $\alpha = \frac{P_m}{E_k}$, α 是单位入射辐射、单位生物量的光合率,单位为 $\text{mg}\cdot\text{c}/\text{mg}\cdot\text{chl}\cdot\text{hr}\cdot(\text{w}\cdot\text{m}^{-2})$ 。 α 虽是对低光强下 CO_2 固定率的度量,又是确定最大光合率 P_m 的必要参数。

然而,自然界各地浮游植物的光合作用均进行于不同的水温变化过程中,模拟推算的第三步需要先求得各地生长季内依纬度和季节而异的水温值,而后根据温度对浮游植物光合速率影响的一般规律,用系数修正法分别对生长季内各季节时段的光合生产力进行温度订正^[9],由此得出了浮游植物光温生产力(即气候生产力)的时间与空间的分布。

应该指出,由于各水域的大气候背景、水深、透明度、营养盐、酸碱度,以及浮游植物种群季节变化等的差异对水体初级生产力影响甚大,客观上给研究不同农业气候资源与水体初级生产力的关系带来困难。显然,为了便于比较不同水域初级生产的气候资源潜力,必须尽量排除上述非气象因子对模拟生产力的干扰。本研究对各地水域给定的理想条件是:

① 均属于贫营养水平但能满足浮游植物的正常要求,水质未受污染,适宜藻类生活,

光合作用极少受到营养因子数量或成分的影响;

② 均属于浅水型湖泊, 不存在温跃层与纵向环流对水温与浮游植物垂直分布的影响;

③ 水体中悬浮的无机微粒极其微小到近于零, 于是因流域的土壤侵蚀造成的水混浊度差异可以略去不计;

④ 浮游植物均为分布广、适应性强的绿藻、硅藻等相近种类, 各水域之间由浮游植物种类差异造成的光合生产差别不予考虑;

⑤ 整个生长季中浮游植物未受其他水生生物的牧食破坏。

结果与讨论

(一) 水体浮游植物气候生产力模拟

1. 光合生产力 浮游植物的日光合生产力 P_D ($\text{mg}\cdot\text{c}/\text{m}^3\cdot\text{日}$) 采用 Talling 公式^[8] 求算

$$P_D = \frac{B_0 \cdot P_m}{K_d} \left[\ln \left(\frac{\bar{E}_s(0)}{0.5 E_k} \right) \right] N$$

式中, B_0 为浮游植物浓度 ($\text{mg}\cdot\text{chl}a/\text{m}^3$)。考虑到我国东部多为浅水湖, 根据假设条件而对温跃层、涉及深层的纵向环流、以及不同水域光合生产者之间的差别略去不计, 可以认为水体中浮游植物的垂直分布趋于稳定, 其浓度可取为不受地区影响的常数。综合考虑了 Snindler 和 Sejrgensew 分别给出的标准^[8], 令 $B_0 = 2$ 。

P_m 为浮游植物单位浓度、单位时间的最大光合率 ($\text{mg}\cdot\text{c}/\text{mg}\cdot\text{chl}a\cdot\text{hr}$), 该值大小与 α 、 E_k 有关。据国外资料, 淡水的 α 值阈在 0.03~0.63 之间^[8], 寒冷气候偏低, 温暖气候偏高, 营养水平差时偏低, 富营养时偏高; 同时注意到加拿大的 Nova Scotia Coastia 为 0.21, 美国 Hudson 湾为 0.25, 北爱尔兰的 Lough Neagh 为 0.18 (硅藻) 等测值^[8], 考虑到我国地处中纬度和给定贫营养水平条件, 由北至南的 α 取值在 0.20~0.41 之间, 详见表 3。

E_k 为浮游植物光饱和始点辐照值 (w/m^2)。据 Nielsen 和 Hansen (1961) 测定结果, 在一定水温范围内 E_k 与水温 T 呈正相关^[8], 换算后可得数学式 $E_k = 4T$, ($0^\circ < T < 35^\circ\text{C}$), 故 E_k 可由不同地区或季节的水温算得。

K_d 为水内光合有效辐射向下的垂直消光系数 (m^{-1}), 是水中各种溶解成分分子、无机悬浮微粒和浮游植物共同存在的结果, 可用上述各分量垂直消光系数之和表示, 并随不同水体上述分量及其时间动态而变化。按照本研究给定条件假设各水体均不受流域陆地化学特性与水土侵蚀的干扰, 则前两个分量可消去, 只成为水中光合有效辐射 K_d (PAR) 与浮游植物及其新陈代谢产物浓度的关系, 且归根结底受浮游植物垂直消光系数 K_{PH} 的制约。 $K_{PH} = K_e \cdot B_0$, B_0 如前所示; K_e 是单位浮游植物浓度的比垂直消光系数, 它与生物特性及水成分有关, 随不同地区、季节而变化。如若 B_0 一定, K_d 可用 K_e 代替。按文献所述, 各种淡水水体的 K_e 值阈在 0.06~5.7 之间^[2,8], 温度愈低浮游植物的代谢强度与增殖能力愈弱, K_e 值愈小。考虑到我国大陆地处温带至亚热带气候和给定水体的其他

理想条件,取上述值阈中下档,又经计算机调试,确定模拟时各地 K_d 值在 $0.5 \sim 1.8 \text{m}^{-1}$ 之间,具体地区、季节差异如表 1 所示。

表 1 不同地区、不同季节的 K_d 值
Table 1 K_d values for different places and seasons

纬度($^{\circ}N$)	$K_d(\text{m}^{-1})$			
	春	夏	秋	冬
$N > 45$	0.7	1.0	0.9	0.5
$45 > N > 37$	0.8	1.3	1.0	0.6
$37 > N > 25$	1.0	1.6	1.5	0.8
$N < 25$	1.3	1.8	1.6	1.0

N 为一天的实际日照时数(hr),由各地地面气象观测记录查得。

$\bar{E}_s(0)$ 为白天透过水面向下辐照初值的日平均(w/m^2),与各地的太阳辐射水平有关,有关的大气层内到达水面的总辐射量 \bar{E} ,由各地常年地面辐射观测资料获得,并用实际日照时数予以订正;入射角 r 来自对各地的计算。

在求得日光合生产力的基础上进一步求年光合生产力,方法是分别取各地的春分(3月21日)、夏至(6月22日)、秋分(9月23日)、冬至(12月22日)四个节气日的日光合生产力代表不同季节的平均日生产水平,按各地水体生长季的长短,对各季节的日生产力加权求和,即为它们的年光合生产力 $P_y(R)$,

$$P_y(R) = \sum_{i=1}^n P_{Di} \cdot D$$

式中 n 为生长季包含的季节数,根据各地的年水温变化动态,寒温带为2,温带至热带均为4。 P_{Di} 为某季节的平均日光合生产力。 D 为天数,所得诸节气日与年光合生产力列于表 3。

2. 气候生产力 相当于水体的光温生产力 $P_y(R, T)$,采用系数修正法,则有

$$P_y(R, T) = P_y(R) \cdot f(T)$$

式中, $f(T)$ 为水温对光合作用的影响函数。取 35°C 为有利浮游植物光合作用的水温上限^[1], 0°C 为生长下限,令函数值阈处在 $0 \sim 1$ 之间。 T 为时段的平均水温,再使 M 为 $\sum \frac{T}{35}$ 居于 $0 \sim 1$ 值阈间的控制系数, M 是经验值,本文令 $M = 10$ 。于是有

$$f(T) = \begin{cases} 0 & T < 0^{\circ}\text{C} \\ \frac{1}{M} \sum \frac{T}{35} & 0^{\circ} < T < 35^{\circ}\text{C} \\ 1 & T > 35^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

各地浮游植物生长季逐月的月平均水温用气温与水温的线性方程^[4]求算

$$T = [a + b(N' - \alpha') + cH]T_a + [d + e(N' - \alpha') + fH]$$

为避免引用的水温线性方程原个别字符与光合生产 Talling 公式的字符混淆,这里将原水温方程的 N, α 分别改写为 N', α' 。该式 T_a 为相应时段气温, α' 为纬度参数, N' 与 H 分别为当地的纬度与海拔高度, a, b, c, d, e, f 是水温方程参数。不同季节水温、生长季水

积温与水温影响函数列入表 2 与表 3 中。

表 2 不同测点、不同季节影响淡水气候生产力的气候参数
Table 2 Climatic parameters effecting climatic productivity of freshwater at different locations and different seasons

地 点	纬度 (°N)	太阳总辐射(W/m ² ·日)				实际日照量(小时/日)				水 温(°C)			
		3月 21日	6月 22日	9月 23日	12月 22日	3月 21日	6月 22日	9月 23日	12月 22日	3月 21日	6月 22日	9月 23日	12月 22日
哈 尔 滨	45.7	156.5	226.3	161.3	55.5	7.9	8.7	7.6	5.1		10.5	4.8	
天 津	39.1	164.9	248.8	179.5	82.3	7.0	9.8	7.9	5.8	9.5	24.6	21.9	4.3
石 家 庄	38.0	168.5	249.8	181.5	91.1	7.4	9.2	7.8	6.9	12.6	27.3	23.2	6.8
郑 州	34.7	148.1	207.5	180.0	87.9	5.7	8.6	6.4	5.3	12.1	31.9	26.2	5.6
南 京	32.0	138.4	204.3	157.6	94.5	4.9	6.7	5.9	5.1	12.1	28.9	27.0	7.9
武 汉	30.6	125.9	203.5	170.6	99.4	3.9	6.8	6.4	4.4	14.0	30.3	27.8	9.2
重 庆	29.5	101.3	147.4	115.6	42.3	2.6	3.7	3.3	0.8	21.6	32.7	32.0	16.6
岳 阳	29.3	107.7	176.4	156.1	82.7	3.2	5.7	6.1	3.8	14.6	30.0	28.0	10.4
南 昌	28.7	124.6	184.6	192.0	96.8	3.1	5.5	7.0	4.2	14.6	29.8	28.9	11.2
广 州	23.1	102.6	166.6	175.0	112.3	2.5	5.2	6.6	5.5	20.8	30.0	29.7	18.2

表 3 不同测点的光合生产力与气候生产力
Table 3 Photosynthetic productivities and climatic productivities at different locations

地 点	α	日光合生产力(mg·c/m ² ·日)				年光合生产力 (g·c/m ² ·年)	生长季水积温 (°C·月)	水温影 响函数	年气候生产力 (g·c/m ² ·年)
		3月 21日	6月 22日	9月 23日	12月 22日				
哈 尔 滨	0.20		89.6	47.7		12.6	46.0	0.13	1.64
天 津	0.20	56.7	89.2	61.8	27.8	21.4	182.0	0.52	11.13
石 家 庄	0.21	63.9	87.5	61.8	38.4	22.9	210.0	0.60	13.74
郑 州	0.23	56.6	87.0	62.0	34.8	21.9	227.5	0.65	14.24
南 京	0.26	52.9	74.0	57.5	46.2	21.0	231.0	0.66	13.86
武 汉	0.29	46.7	83.4	75.0	48.9	23.2	245.0	0.70	16.24
重 庆	0.34	31.6	38.9	27.2	17.2	10.5	283.5	0.81	8.51
岳 阳	0.34	40.5	70.8	77.0	45.7	21.4	252.0	0.72	15.41
南 昌	0.34	42.3	65.9	104.1	56.0	24.5	255.5	0.73	17.88
广 州	0.41	30.1	70.2	109.9	93.3	27.8	297.5	0.85	23.63

(二) 我国大陆东侧水域浮游植物气候生产力的地理分布

1. 光合生产力分布 在大陆东侧按不同纬度并适当考虑附近有丰富水域而选择了 36 个地点,包括东北 5 点,黄淮海 11 点、淮河以南及江南 17 点、华南 3 点,如图 2 所示。根据各地纬度、太阳总辐射量,结合着它们常年平均的实际日照数,求得水体向下的光合有效辐射 $\bar{E}_s(0)$ 。现取部分地点“两分”、“两至”各节气日影响水体光合生产力的大气候参数列于表 2。在此基础上按照研究思路的步骤,得出各地四季的日光合生产力动态列于表 3。由于以水温 0°C 为浮游植物生长的下限温度,东北大部分地区冬半年较长,浮游

植物的主要生长季只有半年左右时期,而大致从北京往南各地水域四季均可视为浮游植物的生长季,它们受太阳辐射的季节变化和水温季节变化的双重影响。在长江流域及其以北的广大地区日光合生产力大小的趋势为:夏季>秋季>春季>冬季;往南则明显受实际日照时数秋季多于夏季和冬季多于春季的影响,形成日光合生产力秋季 \geq 夏季>冬季 \geq 春季的状况。同一季节不同地区的日光合生产力大致为:春、夏季北方大于南方,秋、冬季南方大于北方。由于夏季纬度愈高日总辐量愈大,使得以夏至为代表的最高日光合生产力北方稍大于南方,而在纬度相近的地方为内陆稍大于沿海;夏季日光合生产力的 高值区在黄河下游,而在长江流域则偏低。概括地说,东部各地生长季内浮游植物日光合生产力的平均值为 $61.6\text{mg}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{日}$,生长季最短的东北地区偏高($>90\text{mg}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{日}$),太阳辐射低值中心的四川盆地只有 $30\text{mg}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{日}$ 左右。

各水域的年光合生产力地理分布如图2中粗虚线所示,变化于 $10.5\sim 28.4\text{g}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}$ 之间,分布趋势以华南最高,福州至桂林附近有一条 $25.0\text{mg}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}$ 的等值线,江南和黄河流域下游分别有 $22.5\text{g}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}$ 的次高等值线;其中武汉和山东省临沂是两个大于 $23.0\text{mg}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}$ 的高值小中心,与两地生长季内太阳辐射量偏大、日照时数偏多及温度适宜有关。由于一定范围内总辐射与温度对水生植物光合作用具有互补效应,致使华北至长江流域的大片地区年光合生产力相差无几。东北地区生长季短,年光合生产力不足 $20.0\text{mg}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}$,哈尔滨仅为 12.6 ;四川盆地日照过少,年太阳辐射量小,成为光合生产力的低值中心,重庆是 10.5 ,成都 $12.3\text{mg}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}$ 。此外,杭州湾附近比同纬度略偏低。

2. 气候生产力分布 温度对浮游植物的光合作用具有显著影响,并因南北地区而不同,这从表2与表3的一系列水温资料可以看出。东北地区主要因生长季太短,其水积温仅为华南的25%,但是黄淮海地区内各地的水积温相近并明显增大,约在 $207^\circ\text{C}\cdot\text{月}$ 上下。淮河以南的北亚热带水积温将近 $240^\circ\text{C}\cdot\text{月}$,中亚热带有 $260^\circ\text{C}\cdot\text{月}$ 多,南亚热带达到约 $300^\circ\text{C}\cdot\text{月}$ 。对于光合作用的水温影响函数除广州、南宁外,以重庆最高,均达 0.81 以上;东北最低,哈尔滨仅 0.13 。通过水温订正以后模拟算出的各地水体气候生产力分布如图2粗实线所示。从中可见,气候生产力从两广的大于 $20\text{g}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}$ 到黑龙江省的不足 $2.5\text{g}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}$,南北的差距竟拉大约近10倍。与年光合生产力的分布趋势相比,气候生产力等值线有两个特征:① 纬向分布气候生产力线略显平直;② 黄河下游的次高小中心消失,但是四川盆地仍然维持着一个小于 $10\text{g}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}$ 的低值中心。长江流域由于水体的年热量资源丰富,气候生产力处在 $15\text{g}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}$ 左右,仅比光合生产力约减少30%,华南下降17%,但是东北地区强烈地受到水温函数小的制约,气候生产力竟比光合生产力降低了70~90%。形成上述水体气候生产力分布趋势的原因,可能在秦岭—淮河以南主要与太阳辐射因子的地区间差异有关,但影响较轻;而在东北,关键是受温度因子的限制,且影响甚重。

3. 水热资源利用率的区域差异 近年来由于对陆地作物光合生产力与气候生产力的广泛研究,我国农田对气候资源的利用潜力已逐渐明朗^[9]。现在我们试以不同地区浮游植物生产潜力(PA)与陆地作物生产潜力(PL)进行比较,希望能概括地判别水生植物与陆生作物对农业气候资源的利用水平有什么异同。陆地作物生产力的数据来自我们对王一贤等我国作物光合生产力分布图和孙惠南等我国作物光温生产力分布图分别概算的

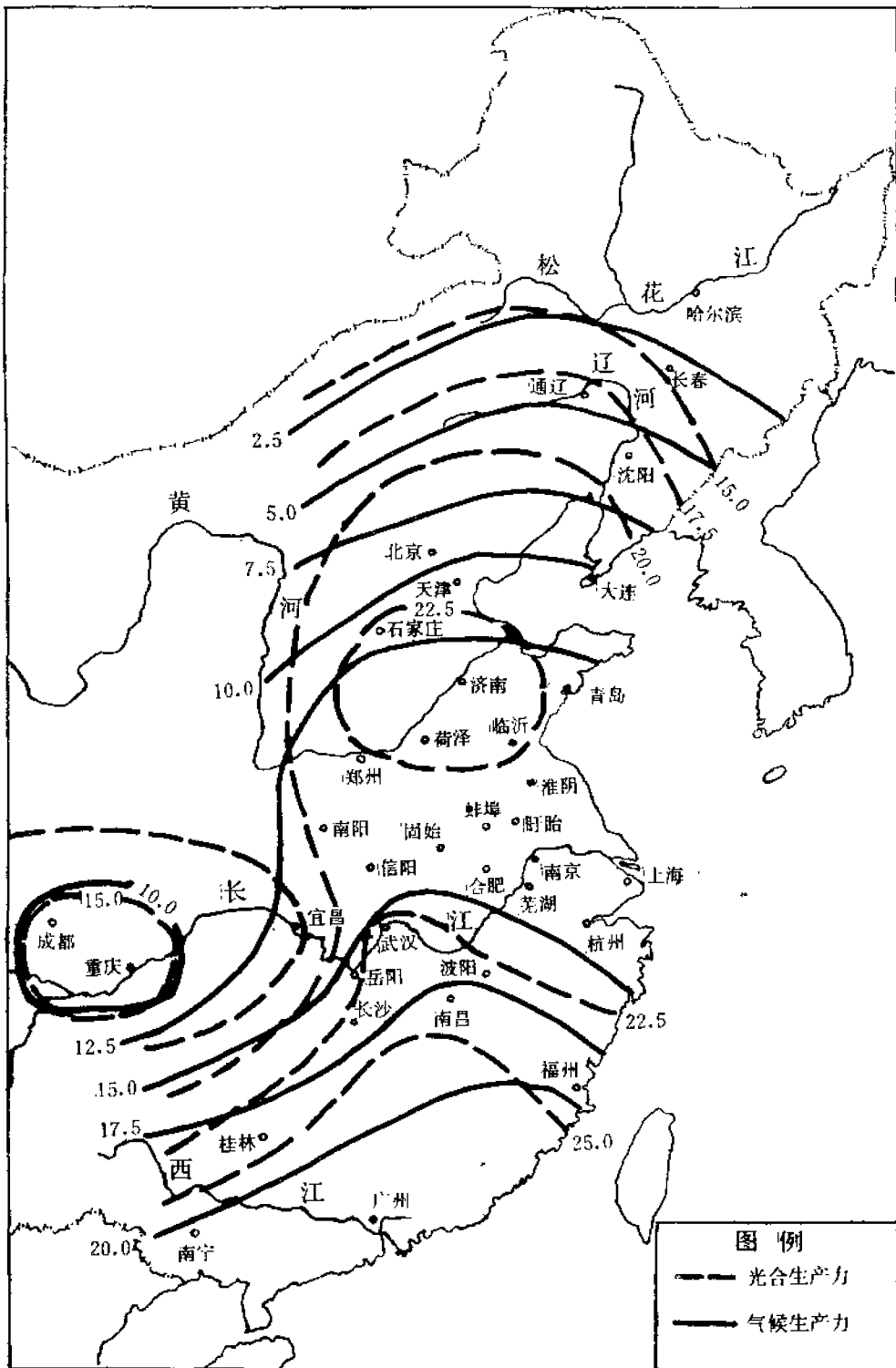


图 2 中国大陆东侧淡水水域的年光合生产力与年气候生产力分布(单位: $g \cdot c / m^3 \cdot \text{年}$)

Fig. 2 Distribution of photosynthetic productivities and climatic productivities of freshwater areas in the eastern China (Unit: $g \cdot c \cdot m^{-3} \cdot \text{year}^{-1}$)

表4 水体初级生产力(PA)与陆地初级生产力(PL)比较(单位:吨干物重/公顷·年)

Table 4 Contract of primary productivity of phytoplankton(PA) with the primary productivity of land crops (PL),(Unit: ton dry weight·ha⁻¹·year⁻¹)

区 域	光 合 生 产 力			光 温 生 产 力		
	PA	PL	$\frac{PA}{PL}(\%)$	PA	PL	$\frac{PA}{PL}(\%)$
华 南	0.872	112.5	0.77	0.716	97.5	0.73
长 江 流 域	0.650	97.5	0.67	0.470	78.0	0.60
东 北	0.536	105.0	0.51	0.116	45.0	0.26

结果^[7]。由表4可见,一般说来,水体的初级生产潜力不到陆地的1%,并且愈往北相差愈多。当然,这种比较是有条件的,因为陆地的光合(或光温)生产力通常指营养条件等最大满足状况下的潜在生产能力,而本文对浮游植物光合(或光温)生产力的模拟条件是贫营养水平的产物。后者之所以未采取富营养是考虑到若水生植物发展过于繁茂,可能导致水中含氧不足等抑制鱼虾类生活的不利环境,从而使对浮游植物初级生产力的讨论失去了意义。据文献资料所列,水体营养水平的差异可使初级生产力相差数倍到数十倍^[2],即使再考虑到这个倍数,浮游植物对光热资源的利用率仍将明显低于陆地的作物。表4又表明, $\frac{PA}{PL}$ 比值南方明显大于北方,特别是在光、温两气候因子作用叠加的时候,说明在淡水水体对气候资源的利用上,南方比北方具有相对优势,因而,对水产气候生产力的开发,南方尤应受到重视。

本文限于理论上定量地对各地贫营养—浅水型水域浮游植物气候生产潜力的初步探索,它们尚不能精确地相等于因营养水平、水体深浅、优势种群等千差万别而表现的不同水域实际状况。不过,如果我们将初级生产力视为以气候生产力为基础,再受到其他生态因子综合影响的结果,含有更多因子作用的、较精确的初级生产力也是可能模拟的。例如,水体深度、浑浊度、酸碱度、水流速等的增大将对气候生产力起负作用,一定范围内水溶性氮、磷等营养元素增多等将起正作用,而浮游植物类群对气候生产力的订正视其种类和生物学特性而异,订正可能有负有正。进一步的探索是需要给出其他非气象因子的修正系数。

结 论

1. 根据能量平衡原理和浮游植物光合生态特性,可以模拟计算任意淡水水域的光合生产力与气候生产力。

2. 我国大陆东侧淡水水域年气候生产力的分布趋势呈南方大于北方的纬向分布,这与一年的光合有效辐射总量、日照时数和水温变化等的时间、空间特征有密切关系。在光合辐射资源较差、日照时数少的四川盆地,无论光合生产力和气候生产力均属低值区。黄河流域下游虽有一片年光合生产力高值的小区,但受水温的抑制该高值中心消失。长江流域中下游及华南地区尽管夏季的日光合生产力不大,但因生长季长,温度适宜,有利于浮

游植物生长与繁殖,气候生产力明显大于北方。东北地区夏季的日光合生产力颇高,但全年气候生产力明显很低。

3. 世界贫营养湖的浮游植物生产力约为 $4\sim 25\text{g}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}^{[1]}$; 中国东部淡水水域的气候生产力平均约为 $14.2\text{g}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}$,各地的差异范围在 $1.6\sim 24.4\text{g}\cdot\text{c}/\text{m}^2\cdot\text{年}$ 之间。中国与世界类似气候下的初级生产力相近,仅东北北部偏低。

4. 从淡水的光热资源分布可知,各地自然水域浮游植物提供的饵料能力和鱼负载量很不相同。低生产力地区的水产气候资源劣势因地而异,东北地区虽有高的夏季光合生产力,但浮游植物有效生长期太短;四川盆地冬、春的光合生产力与气候生产力稍高,却夏秋两季光合生产力过低。因此,水产养殖或人工补充投放饲料的时间与数量分配均应因地制宜,充分考虑当地的气候生产力特性。

参 考 文 献

- [1] 于骥等,1981. 武汉东湖浮游植物的初级生产力及其若干生态因素的关系. 水生生物学集刊, 7(9):42—50.
 [2] 中国科学院水生生物研究所,1988. 淡水渔业增产新技术,379,406—408. 江西科技出版社(南昌).
 [3] 刘乃壮等,1991. 江苏省粮食作物气候——土壤生产力与人口承载量研究. 南京气象学院学报, 14(2):170—178.
 [4] ——,1991a. 淡水鱼类水温区划的气候生态探讨. 水产学报, 15(1):9—16.
 [5] 宋修仁等,1989. 西湖水域初级生产力和富营养化的调查研究. 海洋与湖沼, 20(4):365—374.
 [6] 陈百明等,1991. 中国土地资源生产能力及人口承载量研究,3—35. 中国人民大学出版社(京).
 [7] 欧阳海等,1990. 农业气候学,174,183. 气象出版社(京).
 [8] Kirk, J.T.O., 1988. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*, 32—38, 55—65, 215, 224, 244, 287, 290, 340. Cambridge University Press (USA).

ECOLOGICAL SIMULATION AND GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF CLIMATIC PRODUCTIVITY OF PHYTOPLANKTON IN FRESHWATERS

Liu Naizhuang

(Nanjing Institute of Meteorology, 210044)

Zhang Yonghong

(Meteorological Office of Weinan City of Shanxi Province, 714000)

ABSTRACT Based on the principle of energy balance and the Talling's equation about calculation of daily photosynthetic productivity, a methods for simulant estimation of the yearly photosynthetic productivity and the climatic productivity were proposed. Considering the general features of lakes in China, the seasonal variation of photosynthetic productivity and the geographical distribution of climatic productivity were estimated theoretically in 36 water bodies of eastern China. The climatic productivity decreased from south to north. This tendency has related closely with the photosynthetically active radiation in the atmosphere, the actual sun-

shine duration per year as well as the seasonal and spatial variation of water temperature. Except the northern part of the north-east China, the climatic productivities in the eastern China ranged from 1.6 to 24.4g·C/m²·yr., which is equivalent approximately to the phytoplankton productivity of oligotrophic lakes with similar climate in the world. The major reason of low climatic productivity in north-east China is the short growing season. By the way, the major reason of low climate productivity in the basin of Sichuan Province is the lower photosynthetic productivity in the summer and autumn.

KEYWORDS phytoplankton, photosynthetic productivity, climatic productivity, geographical distribution

欢迎订阅《水产科技情报》

由上海市水产学会、上海市水产研究所主办的《水产科技情报》(双月刊)应广大读者要求,自1993年起扩增版面至48页,加大信息量。

本刊继续保持传统特色,海淡水兼顾,科工贸结合,汇各地信息,纳百家之长,为改革开放服务。

在1992年全国水产系统和上海市的评比活动中,本刊荣获“优秀报刊二等奖”和“1990~1991年度上海市优秀自然科学技术期刊”称号。编辑部全体同仁衷心感谢各地读者和作者的热情支持。

科技兴渔,情报不离。请读者向当地邮局办理1993年度订阅手续。邮发代号4—204,每册定价1.60元,全年订费9.60元。如邮局订阅不便,也可直接汇款至编辑部订阅,包括邮资,全年10.00元。

本刊承接各类渔业商品广告,涂塑封面,彩色插页,制作精良,欢迎中外企业惠顾。

编辑部地址:上海市佳木斯路265号 邮政编码:200433

电话:5483215×24, 5483794 电挂:8260