

渤、黄、东海初级生产力和潜在渔业生产量的评估

宁修仁 刘子琳 史君贤

(国家海洋局第二海洋研究所, 杭州)

摘 要 1984年8月、11月和1985年2月、5月, 笔者在黄海南部和东海北部, 即 $28^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ 、 127°E 以西海域进行了初级生产力及其有关环境要素的调查研究, 结果表明, 浮游植物现存量、生产力和生理活性均为春、夏两季高, 秋、冬依次降低。春、夏两季高值区多出现在跃层附近和水团交汇处; 秋、冬两季由于水体的强烈混合, 各要素分布趋于均匀。真光带叶绿素a平均值四季均为沿岸水>陆架混合变性水>台湾暖流及黑潮水。初级生产力春季沿岸水最高, 陆架变性水和台湾暖流水相当; 夏季陆架变性水>台湾暖流水>沿岸水; 秋、冬则为台湾暖流水>陆架变性水>沿岸水。文章还评估了年有机碳生产量, 并结合同期调查的渤海和黄海北部的结果, 评估了渤、黄、东海的年初级生产量和潜在渔业生产量。3个海区总年有机碳生产量约为 $198.9\times 10^6\text{t}$, 总潜在鱼类生产量约为 $5.4\times 10^6\text{t}$ 。

关键词 渤、黄、东海 初级生产力 潜在渔业生产量

前 言

东海为西北太平洋的边缘海域, 具有宽广的大陆架, 其面积可占东海的60%以上。源自台湾东南的黑潮(Kuroshio)沿东海大陆坡北上, 与其西侧的分支——台湾暖流对东海的海洋环境起着重要影响^[1]。在西部沿岸, 数目众多的河川把大量淡水汇入海洋。特别是长江, 以每年 $9\times 10^{11}\text{m}^3$ 的淡水流量, 携带大量悬浮物质和溶解营养盐入海, 对东海的生态环境、生物生产和渔场的形成起着重要作用。

尽管初级生产力不仅在溶解元素转化和碳循环中起重要作用, 从而控制着海洋与大气二氧化碳的交换和调节着全球气候, 而且对于维持生态系食物网各营养阶层的生产, 及依此评估水产资源的生产潜力和对资源的合理开发利用也具有重要意义, 但是有关东海初级生产力的研究却做得不多^[2~7], 而且尚缺乏东海广阔水域初级生产力及其时空变异的较为系统的资料提供上述需要。本研究旨在了解东海广阔水域的初级生产力分布, 季节变异及其与环境的关系, 进而对该海域水产资源的生产潜力进行评估。

本文于1992-05-25收到, 修改稿于1994-10-10收到。

1 材料和方法

1.1 研究区域和采样观测

研究海域在 $28^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ 、 127°E 以西范围,即包括东海北部和黄海南部.海底地形自西北向东南倾斜,水深自近岸的 10m 增至东南角的 1 000m 以上.在该海域设 7 条断面,共 64 个站位(图 1).于 1984 年 8 月和 11 月,1985 年 2 月和 5 月,用“向阳红 16”号海洋考察船进行了夏、秋、冬和春 4 个季度代表月的调查.

水温观测和盐度测定用水样的采集,用颠倒温度计和南森瓶;化学营养盐(NO_3^- 和 PO_4^{3-})和叶绿素 a 观测所用海水样,用 QCC₂₋₃ 型球盖式采水器,按 0、10、20、35、50、75、100、150 和 200m 层次采集;光合作用速率和潜在初级生产力测定用水样按海面入射光强在水下衰减至 100%、50%、25%、10%、3% 和 1% 共 6 个光强层次采集;浮游植物样品使用标准小网自水深 200m 或底层(当水深小于 200m 时)至表层垂直拖曳取得^[8].

1.2 方法

水温、盐度、透明度和营养盐等项目的测定按《海洋调查规范》^[8];海面吸收辐射光强取自该海域 10 年观测的逐月平均值^[9];光水下衰减层次用 Poole & Atkins^[10]和 Holmes^[11]的方程求得;叶绿素 a 浓度的测定使用 $2\sim 4\text{dm}^3$ 海水样,按 SCOR - Unesco^[12]推荐的分光光度法程序和 Jeffrey & Humphrey^[13]的方程进行;光合作用速率和潜在初级生产力的测定系用 ^{14}C 示踪法^[14],每个光衰减层次用 3 个 250cm^3 的水样瓶(1 只黑瓶,2 只平行白瓶),每瓶加入 $29.6\times 10\text{Bq NaH}^{14}\text{CO}_3$,将白瓶套上具中性光密度的筛套,用以控制白瓶的入射光强与其原采集深度的光强相一致,然后将所有的培养瓶置于垂直旋转培养器^[15],进行模拟现场培养测定,样品的后处理、测定和计算方法均按文献[4]去做;浮游植物的鉴定与计数使用 Lugol 氏溶液保存的样品在光学显微镜下进行;潜在鱼类生产量(P)系使用营养动态法,根据年初级生产量(B),营养阶层能量转换级数(n)和生态效率(E)来计算,所用公式 $P=BE^n$ ^[16].本文采用营养阶层三级转换,生态效率 15% 和浮游植物干重 $=0.35\times$ 湿重^[17]及 100g 干重相当于 35g 有机碳^[18]的比例来计算鱼类生产量,取后者的 50% 为最大持续渔获量.

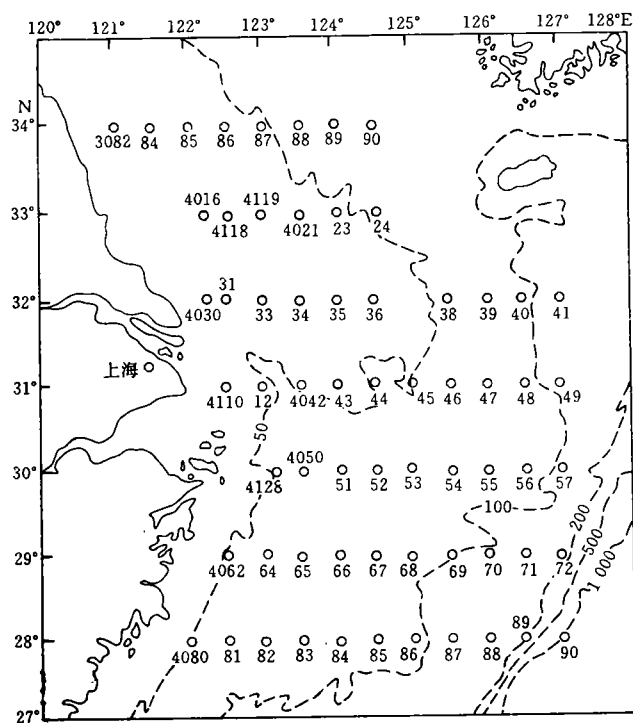


图 1 黄海南部和东海北部取样观测站位

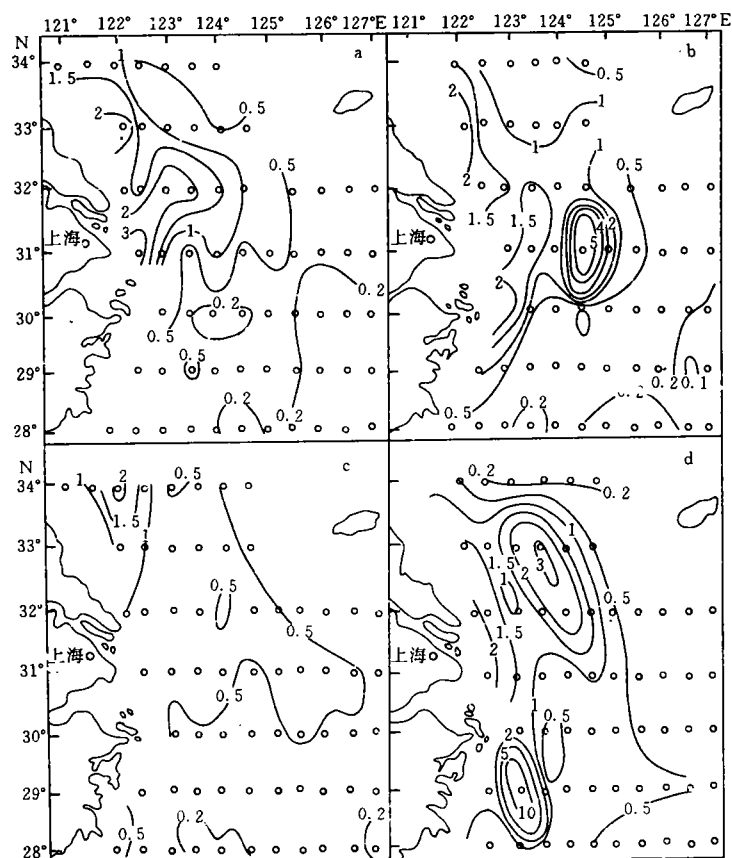


图2 叶绿素 a 浓度 (mg/m^3) 的平面分布

a. 1984 年 8 月, 10m 层 b. 1984 年 8 月, 20m 层
c. 1985 年 2 月, 10m 层 d. 1985 年 5 月, 10m 层

2 结果

2.1 叶绿素 a 和浮游植物优势种类

夏季在 20m 以浅的水层中, 叶绿素 a 的高值区 ($>1.5\text{mg}/\text{m}^3$) 主要分布在长江冲淡水区和沿岸带 (图 2a); 在 20m 层, 高值区除出现在沿岸外, 在陆架中部 (站 4044 附近) 出现最大值 ($>10\text{mg}/\text{m}^3$), 东和东南部, 通常低于 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ (图 2b); 20m 以深水层中叶绿素 a 浓度较低且分布较均匀。

秋季叶绿素 a 的水平和垂直分布相对均匀, 高值区 ($>1.0\text{mg}/\text{m}^3$), 出现在沿岸水的 20m 层和济洲岛西南部的表层; 低值区 ($<0.5\text{mg}/\text{m}^3$) 出现在调查海区的中南部, 范围较大 (图略)。

冬季叶绿素 a 的水平和垂直分布也较均匀, 高值区 ($>$

$1.0\text{mg}/\text{m}^3$) 出现在苏北近海; 中南、东南和东北部均低于 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ (图 2c)。

春季叶绿素 a 浓度在 20m 以浅水层较高, 高值区 ($>1.0\text{mg}/\text{m}^3$) 分布于大陆沿岸和调查海区的北半部。在站 4201 观测到大于 $3.0\text{mg}/\text{m}^3$ 高值, 而在西南部暖水涡的上缘 (站 4064 的 10m 层) 出现叶绿素 a 的最大值 ($23.76\text{mg}/\text{m}^3$)。南部台湾暖流水出现低于 $1.0\text{mg}/\text{m}^3$ 的值, 陆架东部和东南角的黑潮区, 其值均低于 $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ (图 2d)。在 20m 以深的水层叶绿素 a 分布较均匀, 其浓度也较低。

四季网采浮游植物中对叶绿素 a 具主要贡献的优势种类以硅藻为主, 其次为甲藻和蓝藻 (表 1)。

2.2 初级生产力和潜在渔业生产量

夏季初级生产力 (C) 大于 $1000\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 的高值区出现在陆架中部较大区域和舟山外海, 在陆架中部的站 4044 出现最大值 [$>5000\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]。小于 $500\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 的

低值分布于长江口以北的沿岸带, 其他区域值在 500~1 000mg/ (m² · d) (图 3a)。

表 1 四季代表月调查海区网采浮游植物主要优势种类

优势种类	1984 年		1985 年	
	8 月	11 月	2 月	5 月
硅藻类 Bacillariophyta				
距端根管藻 <i>Rhizosolenia calcaravis</i>	+			
笔尖形根管藻 <i>R. styliformis</i>				+
双突角刺藻 <i>Chaetoceros didymus</i>	+			
隆起双突角刺藻 <i>C. didymus</i> var. <i>protuberans</i>	+			
密联角刺藻 <i>C. densus</i>		+	+	
柔弱角刺藻 <i>C. debilis</i>		+		
大西洋角刺藻 <i>C. atlanticus</i>		+		
洛氏角刺藻 <i>C. lorenzianus</i>		+	+	
并基角刺藻 <i>C. decipiens</i>		+	+	
假弯角刺藻 <i>C. pseudocurvisetus</i>				+
印度角刺藻 <i>C. indichum</i>			+	
佛氏海毛藻 <i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>		+		
掌状冠盖藻 <i>Stephanopyxis palmeriana</i>		+		
骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>		+		
奇异菱形藻 <i>Nitzschia paradoxa</i>			+	
尖刺菱形藻 <i>N. pungens</i>	+		+	
细弱海链藻 <i>Thalassiosira subtilis</i>			+	+
具槽直链藻 <i>Melosira sulcata</i>			+	+
菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>			+	
圆筛藻属 <i>Coscinodiscus</i> sp.	+	+	+	+
辐杆藻属 <i>Bacteriastrum</i> sp.		+		
甲藻类 Pirrophyta				
梭角藻 <i>Ceratium fusus</i>	+			
马西里亚角藻 <i>C. massiliense</i>	+			
夜光藻 <i>Noctiluca scintillans</i>	+	+	+	+
蓝藻 Cyanophyta				
蔊氏束毛藻 <i>Trichodesmium thiebautii</i>	+	+	+	+
红束毛藻 <i>T. erythraeum</i>				+

秋季值明显降低, 总的分布趋势是自西和西北向东和东南逐渐增加, 与真光层深度的分布趋势基本一致。小于 50mg/ (m² · d) 的低值区出现在长江口及苏北沿岸, 大于 500mg/ (m² · d) 的高值区分布于南和东南侧, 其间大部分区域值在 100~500mg/ (m² · d) 范围 (图 3b)。

冬季值比秋季更低, 但分布趋势与秋季略同。小于 20mg/ (m² · d) 的低值区仍出现在长江口的苏北近海, 自此向东南逐渐增加, 东南角出现最大值 [$>200\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$] (图 3c)。

春季初级生产力明显增高, 大于 1 000mg/ (m² · d) 的高值区分布于陆架变性水的西部, 台湾暖流和西南暖水涡 (站 4064 附近), 在后者出现最大值 [$11\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$], 位于陆架变性水西部的站 4021 出现 2 300mg/ (m² · d) 的次高值。在陆架变性水的东部和东南角的黑潮区,

其值均低于 $1\,000\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (图 3d).

调查海区鱼类的潜在年生产量约为 $187 \times 10^4 \text{t}$, 最大持续渔获量约为 $94 \times 10^4 \text{t}$.

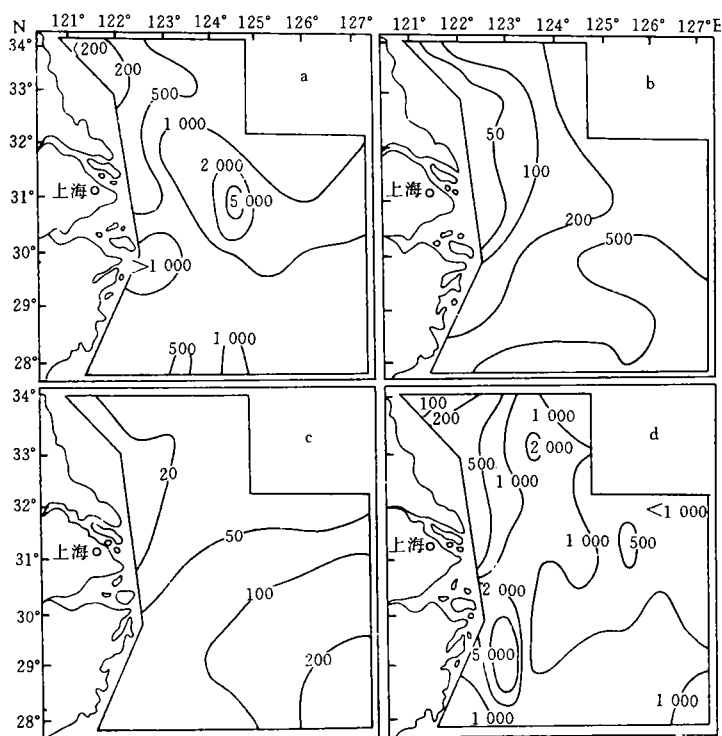


图 3 初级生产力 (C) [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$] 的分布

a. 1984 年 8 月 b. 1984 年 11 月 c. 1985 年 2 月 d. 1985 年 5 月

3 讨论

3.1 季节变异

东海既受到世界强流——黑潮的影响, 具有高温、高盐和低营养盐的大洋水系的特点, 又受到浅海地形和强大的入海径流, 特别是长江冲淡水的影响, 具有低盐、高营养盐的浅海流系的特色. 自南而北的黑潮流系 (包括黑潮主干及其分支——台湾暖流、黄海暖流、对马暖流等) 和自北而南的沿岸流系 (包括黄海沿岸流、江浙沿岸流等) 构成一个气旋式环流系统. 本调查海区即处于这一环流系统之中 (图略).

在该环流系统中, 由于各水团的消涨、混合与结构的季

节变异导致了水体悬浮物质浓度和营养盐含量的季节变异, 加之海面光辐射的季节变异极大地制约着浮游植物的生长、代谢、繁殖等生命活动, 从而制约着浮游植物现存生物量和生产力的季节变异; 反过来, 浮游植物的生命活动又极大地影响着海区的自然环境.

表 2 综合了调查海区 4 个季度代表月浮游植物现存量、生产力、光合作用同化数及其有关环境参数的平均值. 自该表可见, 所列参数具有明显的季节变异. 例如, 海水的平均温度, 夏 > 秋 > 春 > 冬; 平均盐度, 冬 > 秋 > 春 > 夏; 磷酸盐浓度, 冬 > 秋 > 春 > 夏; 硝酸盐浓度, 冬 > 秋 > 夏 > 春; 海面光辐射和真光层深度, 夏 > 春 > 秋 > 冬; 真光层平均叶绿素 a 的浓度, 同化数和初级生产力均为春 > 夏 > 秋 > 冬. 海水平均温度的季节变异与海面阳光辐射强度的季节变异密切相关; 平均盐度的季节变异与低盐的大陆沿岸水 (特别是长江冲淡水) 和高盐的台湾暖流水及黑潮水势力的相对消涨的季节变异密切相关, 即大陆沿岸水的势力为夏 > 春 > 秋 > 冬, 而台湾暖流水及黑潮在调查海区的势力季节强弱的次序则大体相反 (图 4), 这可以从调查海区各水团面积的季节变异 (表 3) 看出. 营养盐平均浓度季节变异的高低顺序与浮游植物参数, 诸如真光层平均叶绿素 a 浓度, 同化数和初级生产力的季节变异的高低顺序恰好相反, 这是由于前者为后者消耗程度季节变异的结果. 真光层深度与水体悬浮物质的浓度有关. 夏、春 2 季水体由于出现层化 [平均温度, 表层高于 20m ; 平均盐度, 表层低于 20m 层;

PO_4^{3-} 和 NO_3^- 浓度平均值均为表层低于 20m 层 (表 2)], 垂直稳定度变大, 有利于悬浮物质的沉降, 使光穿透率提高, 真光层变深; 而秋、冬两季由于水体垂直混合加强, 使表层和 20m 层各要素的平均值非常接近 (表 2)。

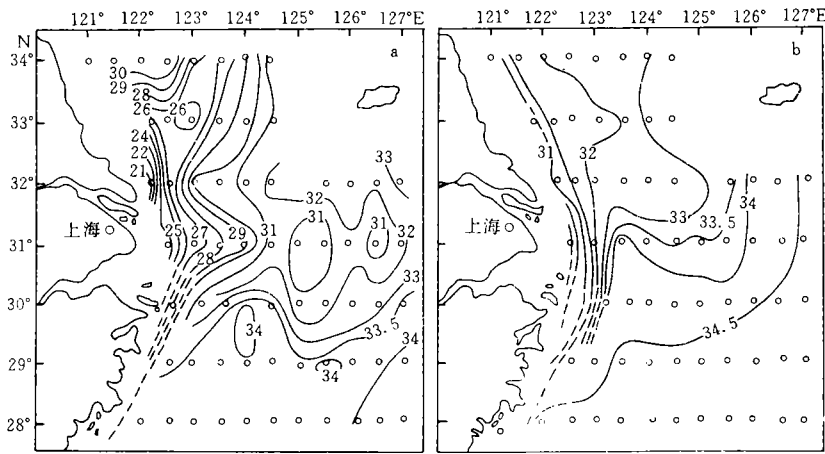


图 4 表层盐度的平面分布
a. 1984 年 8 月 b. 1985 年 2 月

由初级生产力的平面分布 (图 3) 可以看出, 秋、冬两季初级生产力较春、夏两季值低得多. 其等值线梯度小且分布均匀, 这是典型的低生产力时期的特征. 而且等值线分布趋势与真光层深度的分布 (图略) 相一致, 说明该两季水体的混合光是限制初级生产力的主要因素. 春、夏两季则出现块状的高值分布区。

3.2 空间变异

浮游植物现存量的生产力的空间变异与水团结构及分布及其有关环境因子的空间变异有明显关系. 表 3 列出了四季 3 个水团的叶绿素 a 和初级生产力及其有关环境参数的平均值. 由该表可见, 真光层平均叶绿素 a 浓度, 磷酸盐和硝酸盐浓度, 在 4 个季节大多是沿岸水 (C) > 陆架变性水 (M) > 台湾暖流及黑潮水 (TK), 显然这与营养盐的陆源输入和扩散有关. 而真光层的平均深度则相反, 即四季均为 TK > M > C, 这是由于沿岸水较外海水含有较多的悬浮物质所致. 初级生产力平均值春季以 C 最高, M 和 TK 相近; 夏季高低顺序为 M > TK > C; 秋季和冬季均为 TK > M > C. 春、夏两季高生产力区大多出现在水团交汇处和跃层附近, 而秋、冬两季生产力自 C 向 TK 逐渐增高, 这主要是真光层逐渐加深, 使较厚水层的浮游植物参与光合生产的结果。

春季在调查海区西南近海的暖水涡 (站 4064) 出现初级生产力和叶绿素 a 的极大值, 这是由于中层高温 (>20℃)、高盐 (>34) 的台湾暖流次表层水与表层低温 (<19℃)、低盐 (<30.5) 的沿岸水相叠加, 在水深 5~15m 形成强的温盐跃层 (图 5b), 而且上层水在水团界面增温, 极有利于浮游植物的生长和繁殖所致. 因此, 在跃层出现叶绿素 a 和潜在初级生产力的最大值, 营养盐, 特别是 PO_4^{3-} 被耗尽 (图 6a). 在位于陆架变性水西部的站 4021 初级

表 2 4 个季度代表月叶绿素 a、初级生产力及其有关参数值的范围和平均值($\bar{X} \pm SD$)^{*}

1985 年 5 月			1984 年 8 月			1984 年 11 月			1985 年 2 月		
范围	$\bar{X} \pm SD$	n	范围	$\bar{X} \pm SD$	n	范围	$\bar{X} \pm SD$	n	范围	$\bar{X} \pm SD$	n
水温(°C)											
表层	13.32~26.56	64	21.47~30.03	27.45±1.91	64	17.89~25.34	20.39±1.41	64	3.97~21.87	12.80±4.27	64
20m	10.27~26.31	64	8.36~29.35	24.34±4.50	64	17.34~25.39	20.59±1.34	64	6.09~71.88	13.60±3.70	64
盐度											
表层	26.50~34.70	64	23.48~33.40	31.38±3.05	64	28.30~34.54	32.98±1.56	64	28.85~34.72	33.60±1.32	64
20m	30.00~34.70	64	28.34~34.60	32.96±1.26	64	29.70~34.44	33.09±1.38	64	30.40~34.71	33.72±1.12	64
PO ₄ ³⁻ (μmol/dm ³)											
表层	0.00~0.37	64	0.00~0.38	0.04±0.09	64	0.00~1.05	0.19±0.20	64	0.10~0.72	0.42±0.17	64
20m	0.00~0.49 [*]	64	0.00~1.00	0.15±0.24	64	0.00~0.55	0.18±0.16	64	0.06~0.83	0.39±0.16	64
NO ₃ (μmol/dm ³)											
表层	0.00~11.50	64	0.24~28.66	1.57±3.63	64	0.90~6.06	4.09±3.69	64	1.68~13.22	6.77±2.85	64
20m	0.00~12.06	64	0.00~35.76	2.65±5.35	64	0.50~13.50	3.44±3.24	64	1.72~14.04	6.59±2.89	64
海面入射光强 (cal/(cm ² ·d))											
	360~466	64	446~478	467±8	64	216~255	236±9	64	172~236	209±15	64
真光层深度 (m)											
	1.5~81.5	64	1.0~84.5	41.9±23.3	64	1.0~75.0	29.05±20.9	64	0.5~70.5	19.4±16.5	64
真光层平均叶绿素 a (mg/m ³)											
	0.17~6.83	64	0.10~3.99	0.78±0.70	64	0.28~1.34	0.57±0.21	64	0.18~1.79	0.52±0.28	64
同化数(每 mg 叶绿素 a 每 小时所同化碳的 mg 数)											
	2.9~11.3	16	1.4~5.5	3.7±1.6	16	1.4~3.4	2.4±0.9	10	1.0~3.2	1.6±0.8	14
初级生产力(C) (mg/(m ² ·d))											
	75~10 923	64	141~6 133	874±747	64	27~844	334±324	64	9~288	85±66	64

^{*} n 为测站数.

表 3 4 个季度代表月沿岸水(C)、陆架变水性(M)和台湾暖流及黑潮水(TK)的初级生产力
相关参数数值(表层)范围(R)和平均值 $\bar{X} \pm SD$ (括弧内数字为测站数)

	1985 年 5 月				1984 年 8 月				1984 年 11 月				1985 年 2 月			
	C		M		TK		C		M		TK		C		M	
	R	$\bar{X} \pm SD$	R	$\bar{X} \pm SD$	R	$\bar{X} \pm SD$	R	$\bar{X} \pm SD$	R	$\bar{X} \pm SD$	R	$\bar{X} \pm SD$	R	$\bar{X} \pm SD$	R	$\bar{X} \pm SD$
盐度	20.10~ 31.40	28.75± 1.03 (12)	30.80~ 33.40	31.79± 1.01 (37)	33.60~ 34.50	33.60± 0.40 (15)	20.10~ 29.90	27.73± 3.03 (18)	30.20~ 33.70	31.89± 1.06 (21)	33.60~ 34.40	33.95± 0.40 (25)	28.30~ 29.90	29.54± 0.81 (7)	30.33~ 31.50	30.33± 0.69 (4)
水温(°C)	15.28~ 18.77	17.25± 1.22 (12)	13.32~ 19.34	16.05± 2.04 (37)	18.08~ 26.56	21.16± 2.81 (15)	25.22~ 27.94	26.63± 0.70 (18)	21.47~ 29.37	26.53± 2.57 (21)	28.80~ 30.03	29.55± 0.55 (25)	17.96~ 19.71	19.12± 0.64 (7)	20.05~ 24.49	21.46± 0.94 (33)
PO ₄ ³⁻ (μmol/dm ³)	0.00~ 0.37	0.10± 0.15 (12)	0.00~ 0.35	0.10± 0.11 (37)	0.00~ 0.23	0.02± 0.04 (15)	0.00~ 0.35	0.08± 0.12 (18)	0.00~ 0.17	0.02± 0.05 (21)	0.00~ 0.38	0.04± 0.08 (25)	0.00~ 1.05	0.43± 0.35 (7)	0.18~ 0.16	0.18± 0.14 (33)
NO ₃ ⁻ (μmol/dm ³)	0.32~ 11.50	3.84± 3.18 (12)	0.00~ 10.24	1.30± 2.20 (37)	0.00~ 0.42	0.16± 0.14 (15)	0.28~ 28.66	3.34± 1.55 (18)	0.30~ 1.85	0.87± 0.38 (20)	0.24~ 1.98	0.84± 0.46 (24)	2.76~ 16.06	10.89± 5.72 (6)	1.04~ 11.76	4.55± 3.70 (24)
真光层 深度(m)	1.5~ 40.5	19.1± 16.6 (12)	3.0~ 58.5	28.9± 13.9 (37)	28.8~ 81.5	47.3± 15.5 (15)	1.5~ 42.0	16.6± 14.6 (18)	20.5~ 68.0	45.2± 14.0 (21)	38.0~ 34.5	63.4± 14.0 (25)	1.0~ 5.5	2.6± 1.2 (7)	7.0~ 49.0	23.1± 12.8 (24)
真光层平均 叶绿素 a (mg/m ³)	0.50~ 6.83	1.49± 1.86 (12)	0.24~ 3.06	0.92± 0.54 (37)	0.17~ 0.86	0.51± 0.17 (15)	0.39~ 3.12	1.17± 0.68 (18)	0.27~ 3.99	0.95± 0.87 (21)	0.10~ 0.75	0.36± 0.13 (25)	0.53~ 1.10	0.70± 0.19 (7)	0.31~ 1.34	0.65± 0.24 (24)
初级生产 力(C) [mg/(m ² · d)]	75~ 10 923	1 800± 3 014 (12)	92~ 2 304	937± 468 (37)	545~ 1 470	940± 285 (15)	141~ 1 124	556± 387 (18)	265~ 6 133	1 285± 1 358 (21)	463~ 1 136	759± 157 (25)	27~ 56	51± 38 (7)	45~ 233	233± 131 (24)
调查海区中 水团面积 (×10 ³ km ²)	60.2	191.2	52.3	78.1	128.5	97.1	26.2	122.6	154.9	16.6	116.6	170.5				
有机碳 日生产量 (×10 ³ t/d)	108.4	179.2	49.1	43.4	165.1	73.6	1.3	28.6	71.1	0.2	4.9	20.3				
有机碳 年生产量 (×10 ⁶ t/a)																

$\sum = 336.7$

$\sum = 282.1$

$\sum = 101.0$

$\sum = 25.4$

C,13.98(20.6%), M,34.46(50.7%), TK,19.6(28.7%). $\sum = 67.97$

生产力次高值的出现与该站水体具有典型的温盐层化结构和浮游植物参数与营养盐浓度相应的垂直分布特征(图略)有关。

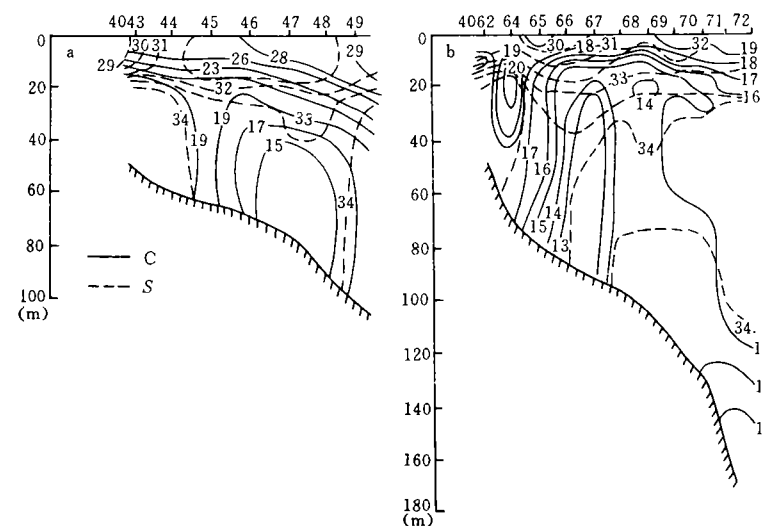


图5 温盐断面分布

a. 1984年8月, 31°N断面 b. 1985年5月, 29°N断面

水体稳定度大, 而且伴随出现营养盐的跃层(图 6b₂), 因此上层处于“饥饿”状态的浮游植物种群在遇到高浓度的营养盐时便迅速增长。

3.3 初级生产力的估算

根据表2所列调查海区各季节的平均初级生产力可计算出各季节有机碳的日生产量: 春、夏、秋、冬四季分别为 3.36×10^5 、 2.82×10^5 、 1.01×10^5 和 0.25×10^5 t/d (调查海区的面积约为 304×10^3 km²), 年有机碳生产量约为 67.97×10^6 t。由表2所列四季各水团的平均初级生产力和相应的调查面积, 计算出四季各水团的日生产量。四季各水团有机碳日生产量的高低顺序, 春: M>C>TK; 夏: M>TK>C; 秋: TK>M>C; 冬: TK>M>C。春夏两季陆架变性水生产量最高与在该两季M所占据的面积最大有关; 秋、冬两季台湾暖流水和黑潮水生产量最高与该水团势力增强, 所占面积最大和真光层又比其他水团深有关。有机碳的年生产量, 沿岸水为 13.98×10^6 t (占 20.6%), 陆架变性水为 34.46×10^6 t (占 50.7%), 台湾暖流及黑潮水为 19.6×10^6 t (占 28.7%) (表3)。

根据本调查海区观测所获得的数据, 结合费尊乐等同期在黄海北部和渤海所观测的结果及1982年5月~1983年5月在渤海观测的结果^[19]将渤、黄、东海各季节初级生产力的分布示于图7, 3个海区各季节的平均初级生产力列于表4。由图7a可见, 春季初级生产力高值 [>1000 mg/(m²·d)] 分布区仅见于南黄海和东海北部, 而北黄海和渤海不出现, 这与北方春季水温仍然较低有关; 夏季块状分布的高值区 [>1000 mg/(m²·d)] 出现在东海北部和北黄海的辽东半岛的东部近海, 而在渤、黄、东海沿岸和近海值普遍较低 [<500 mg/(m²·d)], 这与水体悬浮泥沙含量高、浑浊度大有关(图7b); 秋季除在黄海北部出现局部的高值区 [>1000 mg/(m²·d)] 外, 其他海区初级生产力大体上随水深或真光层深度的增加而增加(图

夏季在中部的站4044出现初级生产力和叶绿素a的最大值是由于该站位于高温($>27^\circ\text{C}$)低盐(<30)的沿岸水(左侧上层), 高温($>27^\circ\text{C}$)中盐(30~33)的陆架变性水(右侧上层), 中温(18~19 $^\circ\text{C}$)高盐(>34)的台湾暖流水(左侧下层)和低温(13~17 $^\circ\text{C}$)中盐(32~33.5)的黄海夏季深层冷水(右侧下层)4个水团的交汇处(图5a), 具极强的跃层(图6b₁), 水

7c); 冬季值普遍较低, 且基本上不出现块状分布的高值区, 初级生产力的分布趋势也是大体上随水深或真光层深度的增加而增加(图 7d). 由表 4 可见, 渤海平均初级生产力按季节的高

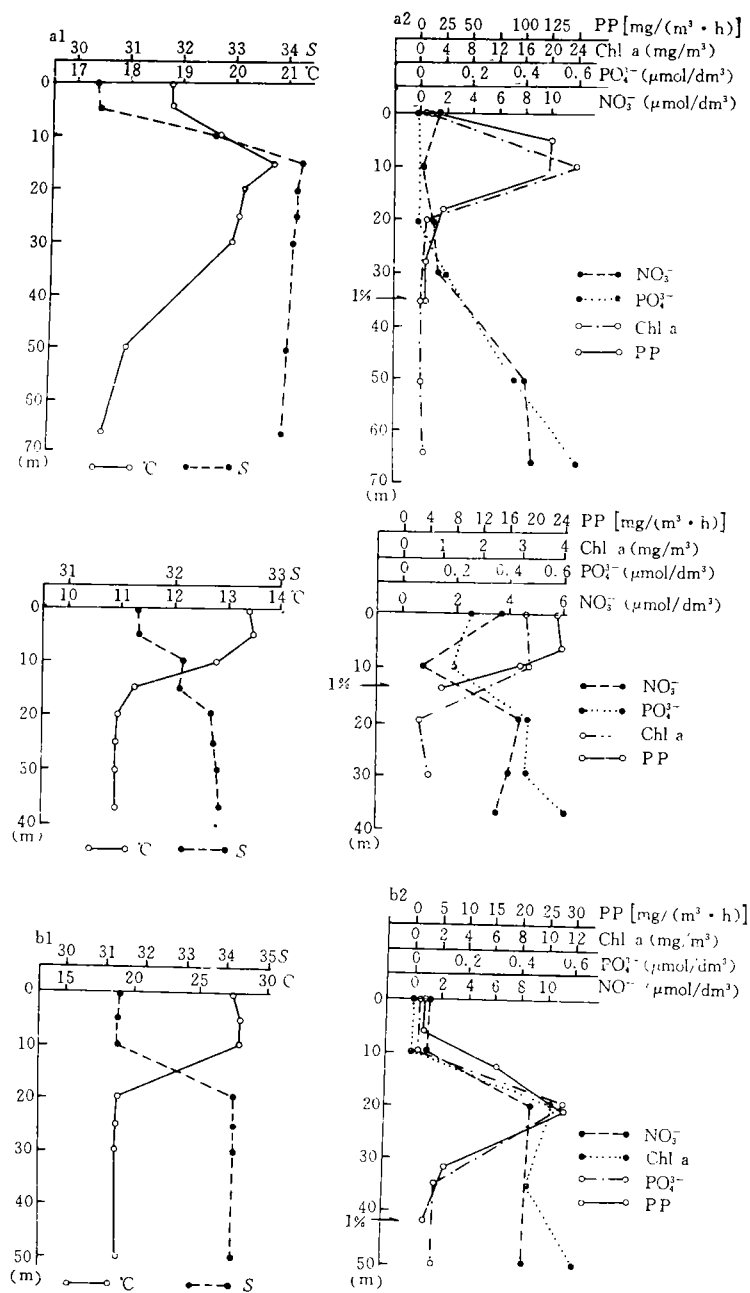


图6 典型站位温度 (t)、盐度 (S)、硝酸盐 (NO_3^-)、磷酸盐 (PO_4^{3-})、叶绿素 a ($\text{Chl } a$) 和潜在初级生产力 (PP) 垂直分布
a. 1985年5月, 站 4064 b. 1984年8月, 站 4044

表 4 渤、黄、东海各季节平均初级生产力 (C) [mg/ (m² · d)]

	春	夏	秋	冬	年平均值	年初级生产力 (C) [g/ (m ² · a)]
渤海	280	451	261	150	286	104.4
黄海	623	596	369	111	425	155.1
东海 (北部)	1 248	1 000	403	103	689	251.5

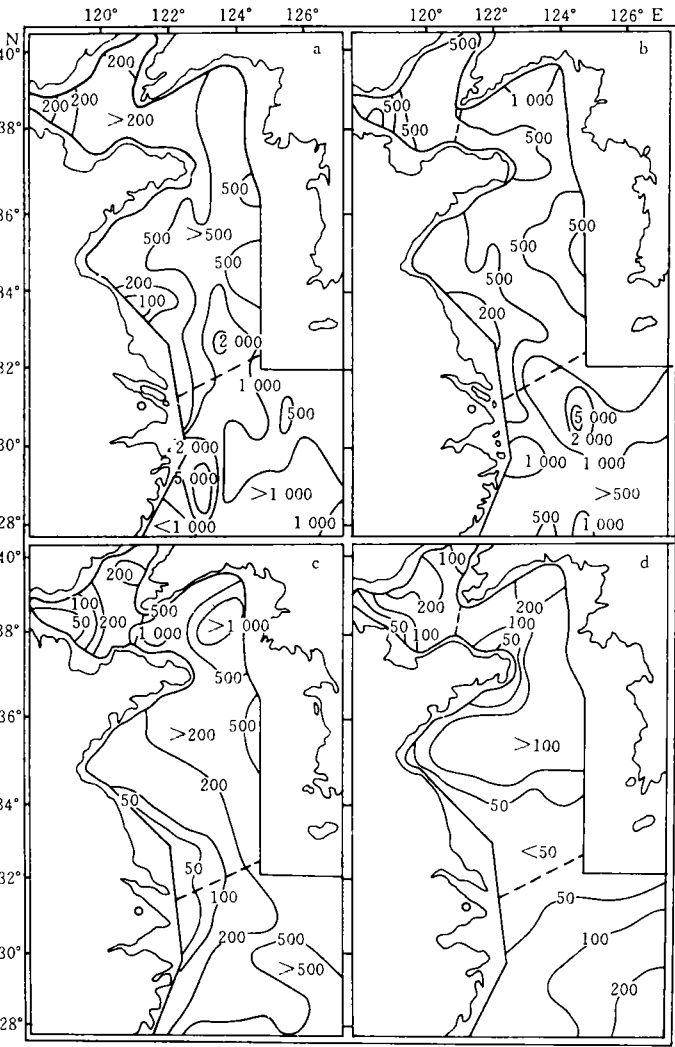


图 7 渤、黄、东海初级生产力 (C) [mg/ (m² · d)] 的分布

a. 1985 年 5 月 b. 1984 年 8 月 c. 1984 年 11 月 d. 1985 年 2 月

是在高生产力的近海和陆架区,东海 200m 等深线以深的陆架外区约占整个东海面积的 40%,主要为低生产力的黑潮区,其初级生产力可按 Saijo 等^[5]和费尊乐等^[6]在黑潮区的实测值 51g/ (m² · a) 来计算,那么整个东海的年有机碳的初级生产量为 131.9×10⁶t,由此,潜在鱼类年生产量估算为 363.1×10⁴t,这样渤、黄、东海总有机碳的年生产量为 199.2×10⁶t,在

低顺序为:夏>春>秋>冬,而黄海和东海北部均为春>夏>秋>冬.海区平均初级生产力除冬季外,其他季节均为东海北部>黄海>渤海.渤、黄、东海有机碳日生产量的平均值分别为 18.1×10³、115.2×10³和 167.4×10³t,合计 300.7×10³t,年有机碳生产量为 109.7×10⁶t(总调查面积约为 580×10³km²,表 5).

3.4 潜在鱼类生产量的估算

对渤、黄、东海调查区计算出的鱼类年生产量分别为 18×10⁴t、116×10⁴t 和 168×10⁴t,年总生产量约为 302×10⁴t,最大持续渔获量为每年 151×10⁴t (表 4).

上述调查面积(表 5)并非整个渤、黄、东海的面积,后者分别为 77×10³、380×10³和 770×10³km².如外推到整个海域的有机碳的年生产量,渤海应为 8.4×10⁶t,黄海应为 58.9×10⁶t,那么相应的潜在鱼类生产量,渤海应为 22.7×10⁴t,黄海应为 162.4×10⁴t.东海情况比较复杂,本调查涉及的东海区基本上

鱼类总年生产量为 $548.2 \times 10^4 \text{t}$ ，最大持续渔获量为 $274.1 \times 10^4 \text{t}$ （表 6）。

表 5 渤、黄、东海调查海区最大持续渔获量

	调查面积 ($\times 10^3 \text{km}^2$)	浮游植物年生产量 ($\times 10^6 \text{t}$)		营养阶层 转换级数	生态效率 (%)	鱼类年生产 量 ($\times 10^4 \text{t}$)	最大持续 渔获量 ($\times 10^6 \text{t}$)
		有机碳	鲜 重				
渤海	63.30	6.60	53.90	3	15	0.18	0.09
黄海	271.20	42.00	342.80	3	15	1.16	0.58
东海北部	243.20	61.10	498.80	3	15	1.68	0.58
合 计	577.70	109.70	891.40			3.02	1.51
黄海南部 + 东海北部	304.00	67.97	554.86	3	15	1.87	0.94

表 6 渤、黄、东海初级生产量和最大持续渔获量

	面 积 ($\times 10^3 \text{km}^2$)	初级生产量 (C)		潜在鱼类生产量 ($\times 10^6 \text{t/a}$)	最大持续渔获量 ($\times 10^6 \text{t/a}$)
		g/ ($\text{m}^2 \cdot \text{a}$)	有机碳年生产量 ($\times 10^6 \text{t}$)		
渤海	80	104.4	8.4	0.23	0.12
黄海	380	155.1	58.9	1.62	0.81
东海	770	171.3	131.9	3.63	1.82
合计	1 230		199.2	5.48	2.74

再看渤、黄、东海的实际渔获量：我国（除台湾省外）1979~1983 年在渤、黄、东海的平均年渔获量为 $230.73 \times 10^4 \text{t}$ （表 7），1984、1985 和 1988 年的渔获量逐年提高，分别为 259.5×10^4 、 272.6×10^4 、 $326.1 \times 10^4 \text{t}$ ，再加上台湾省每年在黄、东海的估计渔获量 $28 \times 10^4 \text{t}$ ，日本每年在黄海和东海仅底层鱼约捕获 $20 \times 10^4 \text{t}$ ，朝鲜和韩国约捕底层鱼 $30 \times 10^4 \text{t}$ ^[20]，日本、朝鲜、韩国在该海区捕捞中上层鱼合计每年至少也有 $30 \times 10^4 \text{t}$ ，这样在渤、黄、东海总年渔获量要超过 $400 \times 10^4 \text{t}$ ，从而大大超过了东海的最大持续渔获量，造成了水产资源的严重破坏，致使传统的经济鱼类资源濒于衰竭，渔获物组成趋于低质化和低营养阶层化，主要经济鱼种（如带鱼）在渔获物中趋于小型化和幼龄化。因此，为保护东海的水产资源，大力发展外洋渔业与发展沿海和港湾的增养殖业已迫在眉睫。

表 7 1979~1983 年我国在渤、黄、东海的平均年渔获量 ($\times 10^4 \text{t}$) 及组成*

渔获物类别	渤、黄海	东 海	合 计
中、上层鱼	19.50	16.72	36.22
底 层 鱼	13.00	58.24	71.24
虾 蟹 类	14.70	20.43	35.13
头 足 类	1.32	4.30	5.62
其 他	35.92	46.60	82.52
合 计	84.44	146.29	230.73

* 引自农业部水产司。

国家海洋局东海分局断面调查队提供温、盐和网采浮游植物资料，国家海洋局第二海洋研究所化学室提供营养盐资料，在此一并致谢。

参考文献

1 管秉贤：东海海流系统概述，东海大陆架论文集，1978，126~133。

- 2 宁修仁, 刘子琳, 胡钦贤. 浙江沿岸上升流区叶绿素 a 和初级生产力的分布特征. 海洋学报, 1985, **7** (6): 751~762
- 3 柴心玉, 纪绪良, 袁克芬. 长江口及济州岛附近海域叶绿素 a 含量的分布和初级生产力的估算. 山东海洋学院学报, 1986, **16** (2): 1~26
- 4 Ning X *et al.* Standing stock and production of phytoplankton in the estuary of the Changjiang River (Yangtze River) and the adjacent East China Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., 1988, **49** (10): 141~150
- 5 Saijo Y, T Kawamura, S Iizuka & K Nozawa. Primary production in Kuroshio and its adjacent area. Proceedings of the 2nd CSK Symposium, Tokyo, 1970, 169~175
- 6 费尊乐等. 东海黑潮区叶绿素 a 和初级生产力的分布特征. 黑潮调查研究论文集, 北京: 海洋出版社, 1987, 256~266
- 7 刘子琳. 浙江潮下带海域秋季初级生产力和叶绿素 a 的分布. 东海海洋, 1989, **7** (1): 57~65
- 8 国家海洋局. 海洋调查规范. 北京: 海洋出版社, 1975
- 9 中国科学院海洋研究所海洋气象组, 中国科学院地理所海洋气象组. 渤、黄、东海海面热平衡图集. 北京: 科学出版社, 1977, 1~5
- 10 Poole H H & W R G Atkins. Photoelectric measurements of submarine illumination throughout the year. Journal of Marine Biological Association, U. K., 1929, **16**, 297~324
- 11 Holmes R W. The secchi disk in turbid coastal waters. Limnol. Oceanogr, 1970, **15**, 688~694
- 12 SCOR-Unesco Working Group 17. Monographs on Oceanographic Methodology, 1966, **1**, 69
- 13 Jeffrey S W & G F Humphrey. New spectrophotometric equations for plants, algae and natural phytoplankton. Biochem. Physiol. Pflanzen (BPP), 1975, **167**, 191~194
- 14 Parsons T R, Y Maida & C M Lalli. Manual of Chemical and Biological Methods for Sea Water Analysis. Pergamon Press, Oxford, 1984, 115~120
- 15 宁修仁, 孙志英, 刘子琳. 一种新型的海洋光合作用和初级生产力测定用培养器. 海洋学报, 1988, **10** (1): 122~125
- 16 Parsons T R, & M Takahashi. Biological Oceanographic Processes. Pergamon Press, Oxford, 1973, 186
- 17 Beers J R & G L Stewart. Microzooplankton and its abundance relative to the zooplankton and other seston components. Mar. Biol., 1969, **4**, 182~189
- 18 Margalef R & F Vives. La vida suspendita en las aguas, Ecologia Marine, Monografia 14, Fund. La Salle de Ciencias Naturales. Caracas, 1967, 493~562
- 19 Zunle F *et al.* The study of productivity in the Bohai Sea - I. Primary productivity and estimation of potential fish catch. Acta Oceanologica Sinica, 1990, **9**, 303~313
- 20 辻田时美. 海洋水产资源问题の現状と将来. 日韩トンネル研究, 国际ハウエジエイフ. 日韩トンネル研究会, 1988, **8**, 60~74