

文章编号:1000-0615(2009)06-1050-10

## 我国东、黄海鲈鱼灯光围网渔业 CPUE 标准化研究

李纲<sup>1</sup>, 陈新军<sup>1,2,3</sup>, 田思泉<sup>1,2</sup>

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室, 上海 201306;

3. 上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验, 上海 201306)

**摘要:**日本鲈是我国近海重要的中上层鱼类资源之一, 评估其资源量需要对单位捕捞努力量渔获量(CPUE)进行标准化。影响 CPUE 标准化的因素很多, 包括季节、区域和海洋环境等。本文利用广义线性模型(GLM)和广义加性模型(GAM), 结合时空、捕捞船、表温等因子, 对1998-2006年东、黄海大型灯光围网渔业鲈鱼 CPUE 进行标准化, 并评价各因子对 CPUE 的影响。首先应用 GLM 模型评价时间、空间、环境以及捕捞渔船参数对 CPUE 的影响, 并确定显著性变量。其次, 将显著性变量逐一加入 GAM 模型, 根据 Akaike 信息法则(AIC), 选择最优的 GAM 模型。最后, 利用最优的 GAM 模型对 CPUE 标准化, 并定量分析时间、空间、环境以及捕捞渔船参数对鲈鱼 CPUE 的影响。GLM 模型结果表明:8 个变量对 CPUE 有重要影响, 依次为年、船队、船队与年的交互效应、月、船队与月份的交互效应、经度、纬度和海表温。根据 AIC, 包含上述 8 个显著性变量的 GAM 模型为最优模型, 对 CPUE 偏差的解释为 27.78%。GAM 模型结果表明:高 CPUE 分别出现在夏季海表温为 28~31 °C 的东海中部和冬季海表温为 12~16 °C 的黄海;1998-2006 年, 标准化后的 CPUE 呈逐年下降趋势, 与持续增长的捕捞努力量有关。

**关键词:**日本鲈;单位捕捞努力量;大型灯光围网;广义线性模型;广义加性模型

**中图分类号:**S 937

**文献标识码:**A

日本鲈(*Scomber japonicus*)广泛分布于西太平洋沿岸水域, 其中对马群系分布在东、黄海和日本海<sup>[1]</sup>, 主要为中国、日本、韩国等灯光围网渔业利用。近年来, 我国大型灯光围网渔业鲈鱼产量波动剧烈, 1999 年产量高达  $8.4 \times 10^4$  t, 而 2006 年产量仅为  $1.7 \times 10^4$  t, 同时名义单位捕捞努力量(Nominal CPUE)也呈现逐年下降的趋势。CPUE 通常用作表示鱼类资源丰度的相对指数, 是对渔业资源进行评估的基础内容之一<sup>[2-3]</sup>, 但名义 CPUE 受捕捞能力、海洋环境、作业时间、作业地点等众多因素的影响, 无法真实反映渔业资源丰度。因此, 需要对名义 CPUE 进行标准化, 使 CPUE 能够反映渔业资源丰度的变化<sup>[4-8]</sup>, 从而减少了资源评估结果的误差和不确定性。广义线

性模型(GLM)是目前 CPUE 标准化的最常用方法之一, 在过去十年中得到越来越广泛的运用<sup>[9]</sup>。广义加性模型(GAM)更适合处理非线性问题<sup>[10]</sup>, 在 GLM 模型中响应变量是由线性预测值组合所描述的<sup>[11]</sup>, 而 CPUE 和环境因素等影响因子间的关系很可能是非线性的<sup>[12-13]</sup>。研究表明, 鲈鱼资源变动受海水表温、厄尔尼诺事件、南方涛动、海流等环境因素的影响<sup>[14-18]</sup>。但有关东、黄海鲈鱼 CPUE 标准化的研究还相当缺乏, 并影响到对其资源量的正确评估。为此, 本文利用 1998-2006 年我国大型鲈鱼灯光围网渔业统计数据, 结合时空、渔船、海洋环境等因子, 应用 GLM 和 GAM 模型对该渔业 CPUE 进行标准化, 为东、黄海鲈鱼资源评估工作提供基础。

收稿日期:2007-12-13 修回日期:2008-04-05

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2007AA092202;2007AA092201);国家科技支撑计划(2006BAD09A05);国家自然科学基金(NSFC40876090);上海市捕捞学重点学科建设项目(S30702)

通讯作者:陈新军, Tel: 021-61900306, E-mail: xjchen@shfu.edu.cn

## 1 材料与方 法

### 1.1 数据来源

1998-2006年鲈鱼灯光围网生产统计数据由中国远洋渔业分会上海海洋大学鱿钓技术组提供,数据包括作业日期、作业位置(经度、纬度,空间分辨率 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ )、产量(t)、放网次数和平均网次产量(t/hual)。月平均海水表温(SST)和海水表温距平均值(SSTA)数据来源于美国航天局(NASA, <http://poet.jpl.nasa.gov>),空间分辨率分别为 $9\text{ km} \times 9\text{ km}$ 和 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。

### 1.2 渔业统计数据和环境数据的匹配

由于渔获量、SST以及SSTA数据的空间分辨率不同,因此必须对其空间尺度进行转化并统一。月平均名义CPUE(经度、纬度,空间分辨率 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ )计算如下:

$$CPUE_{ymijk} = \frac{C_{ymijk}}{F_{ymijk}} \quad (1)$$

式中, $CPUE_{ymijk}$ 、 $C_{ymijk}$ 、 $F_{ymijk}$ 分别表示船队 $k$ 在 $y$

年、 $m$ 月、经度 $i$ 、纬度 $j$ 的月平均CPUE、产量以及放网次数。

SST数据转化为

$$SST_{ymijk} = \frac{\sum_{x=1}^n SST_x}{n} \quad (2)$$

式中, $SST_{ymijk}$ 为 $y$ 年、 $m$ 月、区域 $ij$ ( $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ )的平均SST, $SST_x$ 表示为 $y$ 年、 $m$ 月、区域 $ij$ 中的某个SST数据。

SSTA数据用Kriging插值法<sup>[19]</sup>将其空间分辨率由 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 转化为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 。

### 1.3 捕捞船队

目前我国在东、黄海生产作业的大型鲈鱼灯光围网共有7个船队,分属7家渔业公司。各公司捕捞船队的渔船参数—总吨位、主机功率、网长、网高、灯光配置等存在很大差异,但公司内部基本相同(表1)。为减少模型中的变量个数,以每家公司的整个船队作为捕捞渔获变量,综合反映各船队间捕捞能力(表1)。

表1 各船队类别及各船队基本捕捞单位的船舶和网具参数

Tab.1 Gross registered tonnage (GRT), main engine power (MEP, kW), vessel length (m), seine length (m) and height (m) and total light power (TLP, kW) of a fishing unit for each fleet

船队类别 kind of fleet	网船 purse seine vessel			灯船 lighting vessel			围网 purse seine		灯光 总功率 (kW) TLP
	总吨 GRT	船长(m) length	主机功率(kW) MEP	总吨 GRT	船长(m) length	主机功率(kW) MEP	网长(m) net length	网高(m) net height	
1	210	42.65	600	100	27.60	520	1000	280	338
2	116	39.45	1200	85	38.16	1000	1050	350	252
3	265	43.30	600	113	33.00	400	950	250	362
4	251	42.65	600	112	27.50	661	1000	250	240
5	224	42.65	600	100	27.50	450	1020	250	216
6	265	43.30	600	100	27.50	500	980	310	196
7	218	39.73	1170	75	22.50	750	900	280	128

### 1.4 GLM和GAM模型

GLM模型中,将时间(年、月)、空间(经度、纬度)、环境(SST、SSTA)和捕捞技术(船队)因素作为解释变量,其中变量年、月、船队为分类离散变量,其它变量为连续变量。CPUE加上常数1,再作对数变换后,作为响应变量,以解决CPUE为0的情况<sup>[7, 13]</sup>。假设响应变量服从正态分布,则GLM模型为

$$\text{Ln}(CPUE_{ymijk} + 1) = b_0 + b_1 \text{Year}_y + b_2 \text{Month}_m + b_3 \text{Longitude}_i + b_4 \text{Latitude}_j + b_5 \text{Fleet}_k + b_6 \text{SST}_{ymij} + b_7 \text{SSTA}_{ymij} + b_8 \text{Interaction}_t + \varepsilon_{ymijk} \quad (3)$$

式中, $CPUE$ 为月平均单位网次产量; $\text{Interaction}_t$ 交互项,表示船队与其它解释变量的交互效应, $b_1 \sim b_7$ 为模型参数, $\varepsilon_{ymijk}$ 为误差项,假设其服从正态分布。用III型平方和对模型参数进行显著性检验<sup>[13]</sup>。

GAM模型表示为

$$g[\text{Ln}(CPUE_{ymijk} + 1)] = c + \text{lo}(x_1, \text{span} = 0.3) + \text{lo}(x_2, \text{span} = 0.3) + \dots + \text{lo}(x_i, \text{span} = 0.3) + \text{lo}(\text{Interaction}_t, \text{span} = 0.3) + \varepsilon_{ymijk} \quad (5)$$

式中, $g$ 为连接函数, $c$ 为常数, $x_i$ 为第 $i$ 个解释变量, $\text{lo}$ 为loess平滑函数, $\varepsilon_{ymijk}$ 为误差项,假设其服

从正态分布,  $span$  表示选取的观察值在  $loess$  回归数据附近所占比例, 比如  $span$  等于 0.3 表示该比例为 30%<sup>[13]</sup>。

解释变量依次加入 GAM 模型, 得到包含不同个数解释变量的 GAM 模型。AIC 值最小的模型, 为最佳模型。AIC 值由下式计算<sup>[11, 13]</sup>:

$$AIC = 2q + n \ln(RSS/n) \quad (6)$$

式中,  $q$  为模型中参数的个数,  $n$  为观察值(数据样本)的个数,  $RSS$  为残差平方和。

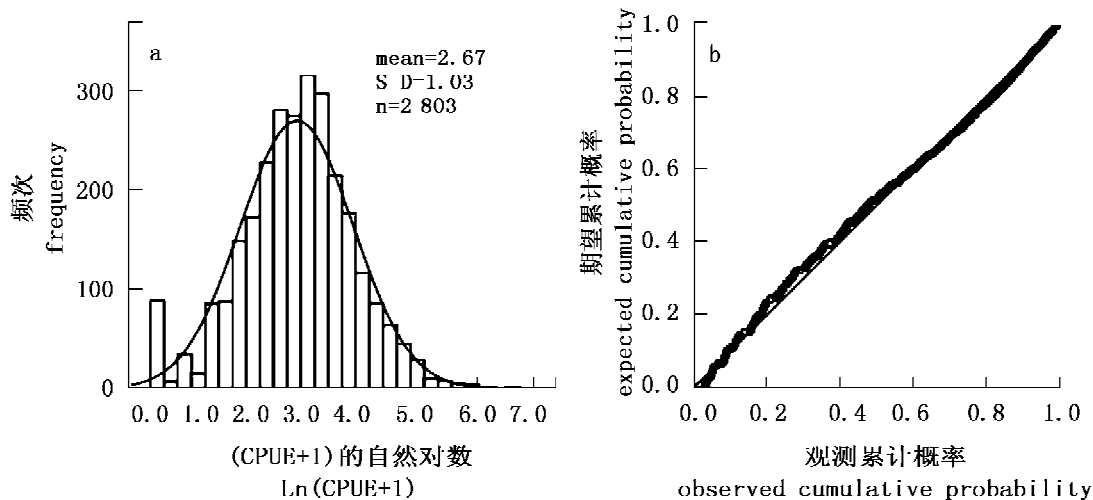


图1 1998-2006年东、黄海鲈鱼灯光围网渔业  $\ln(\text{CPUE} + 1)$  的频次分布及其检验

a: 频次分布图; b: 正态 p-p 图

Fig. 1 The  $\ln(\text{CPUE} + 1)$  distribution for the Chinese chub mackerel large lighting-purse seine fishery in the East China Sea and Yellow Sea from 1998 to 2006 and its distribution tests

a. frequency distribution; b. normal p-p plot

## 2.2 GLM 分析

GLM 模型显著性变量的检验见表 2。III 型平方和和 F 检验的结果表明, 年、月、经度、纬度、船队、SST 以及交互项船队与年 ( $\text{fleet} \times \text{year}$ )、船队与月 ( $\text{fleet} \times \text{month}$ ) 均为显著性变量, 对 CPUE 的影响极显著 ( $P < 0.01$ ); SSTA 以及船队与经度 ( $\text{fleet} \times \text{longitude}$ )、与纬度 ( $\text{fleet} \times \text{latitude}$ )、与 SSTA ( $\text{fleet} \times \text{SSTA}$ ) 的交互效应为不显著变量, 对 CPUE 的影响不显著 ( $P > 0.1$ )。因此, 选择 8 个显著性解释变量进入 GAM 模型, 包括 6 个解释变量和 2 个交互项。

## 2.3 GAM 分析

解释变量和交互项逐一加入 GAM 模型, 结果表明所有 6 个变量及 2 个交互项对 CPUE 的影响都是极显著的 ( $P < 0.0001$ , 表 3)。根据 AIC 值, 最优的 GAM 模型为:

## 2 结果

### 2.1 解释变量 $\ln(\text{CPUE} + 1)$ 的分布

K-S 检验显示, 正态 p-p 图中  $\ln(\text{CPUE} + 1)$  的散点几乎形成一条直线 (图 1b), 证明  $\ln(\text{CPUE} + 1)$  服从正态分布 ( $\mu = 2.67, \sigma = 1.03$ , 图 1a)。上述结果表明, 本文关于  $\ln(\text{CPUE} + 1)$  服从正态分布的假设, 以及采用 GLM 和 GAM 模型进行分析是合适的。

$$\ln(\text{CPUE}_{yijk} + 1) \sim \text{Year}_y + \text{Month}_m + \text{Lo}(\text{Longitude}_i, \text{span} = 0.3) + \text{Lo}(\text{Latitude}_j, \text{span} = 0.3) + \text{Fleet}_k + \text{Lo}(\text{SST}_{ymij}, \text{span} = 0.3) + \text{Fleet}_k \times \text{Year}_y + \text{Fleet}_k \times \text{Month}_m$$

该模型作为对 CPUE 总偏差的解释为 27.78% (表 3)。GAM 模型的分析结果中, 变量年对 CPUE 的影响最大, 解释了 6.51% 的总偏差, 随后依次是船队与年的交互效应 (4.90%), 船队 (4.78%), 月 (4.12%), 船队与月的交互效应 (2.68%), 纬度 (1.86%), SST (1.28%)。

1998-2001 年 CPUE 逐渐下降, 2002 年有了小幅增长, 但 2003-2006 年 CPUE 又逐年下降 (图 2a)。2006 年 CPUE 降至九年间的最低点。由于 2-6 月份只有很少渔船生产, 数据太少导致月效应对 CPUE 的影响出现很大的不确定性, 因此 2-6 月份月效应对 CPUE 的影响不明。在主

要捕捞季节(7月至次年1月)初期,CPUE 比较低。8月份 CPUE 开始增长并保持相对稳定的水平,一直持续到11月份。12月,CPUE 又出现较大的增长,达到整个捕捞季节的最高峰,随后在1月份开始下降(图2b)。空间因素经度在 $124^{\circ} \sim 126^{\circ}\text{E}$ 区域内对 CPUE 产生很大影响(图2c),而在东海近海和外海以及黄海近海水域影响很低。

纬度对 CPUE 的影响则呈现由南向北逐渐降低的趋势(图2d)。船队是影响 CPUE 的最主要因素之一,而船队2与其它船队相比,其捕捞效率最高(图2e)。SST 在不同的温度范围对 CPUE 的影响不同。SST 在 $12 \sim 16^{\circ}\text{C}$ 时,随着 SST 升高,CPUE 下降;而当 SST 高于 $26^{\circ}\text{C}$ ,CPUE 随着 SST 的升高而增长。

表2 东、黄海鲈鱼灯光围网渔获率 GLM 模型显著性变量的检验

Tab.2 Test of the significant variables in the generalized linear model (GLM) fitted to the chub mackerel catch rate in the Chinese large lighting-purse seine fishery in the East China Sea and Yellow Sea

偏差来源 source	自由度 df	偏差 deviance	残差自由度 resid df	残差偏差 resid deviance	F	P
无效 NULL			2 802	2 996.62		
年 year	8	195.08	2 794	2 801.55	24.32	0.000 0
月 month	11	123.56	2 783	2 677.99	11.67	0.000 0
经度 longitude	1	26.54	2 782	2 651.45	27.85	0.000 0
纬度 latitude	1	25.47	2 781	2 625.98	26.98	0.000 0
船队 fleet	6	146.87	2 775	2 479.10	27.40	0.000 0
海水表面温度 SST	1	6.02	2 774	2 473.08	6.76	0.009 4
表温距平均值 SSTA	1	0.44	2 773	2 472.64	0.49	0.484 7
船队×年 fleet × Year	41	145.43	2 732	2 327.22	4.16	0.000 0
船队×月 fleet × Month	56	85.67	2 676	2 241.55	1.83	0.000 2
船队×经度 fleet × Longitude	6	8.70	2 670	2 232.85	1.73	0.109 2
船队×纬度 fleet × Latitude	6	5.21	2 664	2 227.64	1.04	0.398 7
船队×海水表面温度 fleet × SST	6	5.55	2 658	2 222.09	1.11	0.355 4
船队×表温距平均值 fleet × SSTA	6	6.89	2 652	2 215.20	1.37	0.220 9

表3 东、黄海鲈鱼灯光围网渔业渔获率 GAM 模型拟合结果的偏差分析及最适 GAM 模型的选择

Tab.3 Summary of analysis of deviance for generalized additive model (GAM) and goodness-of-fit statistics for the GAMs fitted to the chub mackerel catch rate for the Chinese large lighting-purse seine fishery

模型 models	偏差 deviance	残差自由度 resid df	残差偏差 resid deviance	累积解释偏差(%) explained	AIC
无效 NULL			2802	2996.62	
+年 +year	195.08	2794	2801.55	6.51	619.32
+月 +month	123.56	2783	2677.99	10.63	525.37
+loess(经度,0.3)	49.27	2776.82	2628.73	12.28	490.69
+Lo(Longitude, 0.3)					
+loess(纬度,0.3)	55.86	2770.86	2572.86	14.14	447.95
+Lo(Latitude, 0.3)					
+船队 +Fleet	143.23	2764.89	2429.63	18.92	330.63
+loess(海水表面温度,0.3)	38.40	2758.74	2391.23	20.20	299.45
+Lo(SST, 0.3)					
+船队×年 +fleet × year	146.79	2717.74	2244.43	25.10	169.48
+船队×月 +fleet × month	80.36	2661.74	2164.07	27.78	95.54

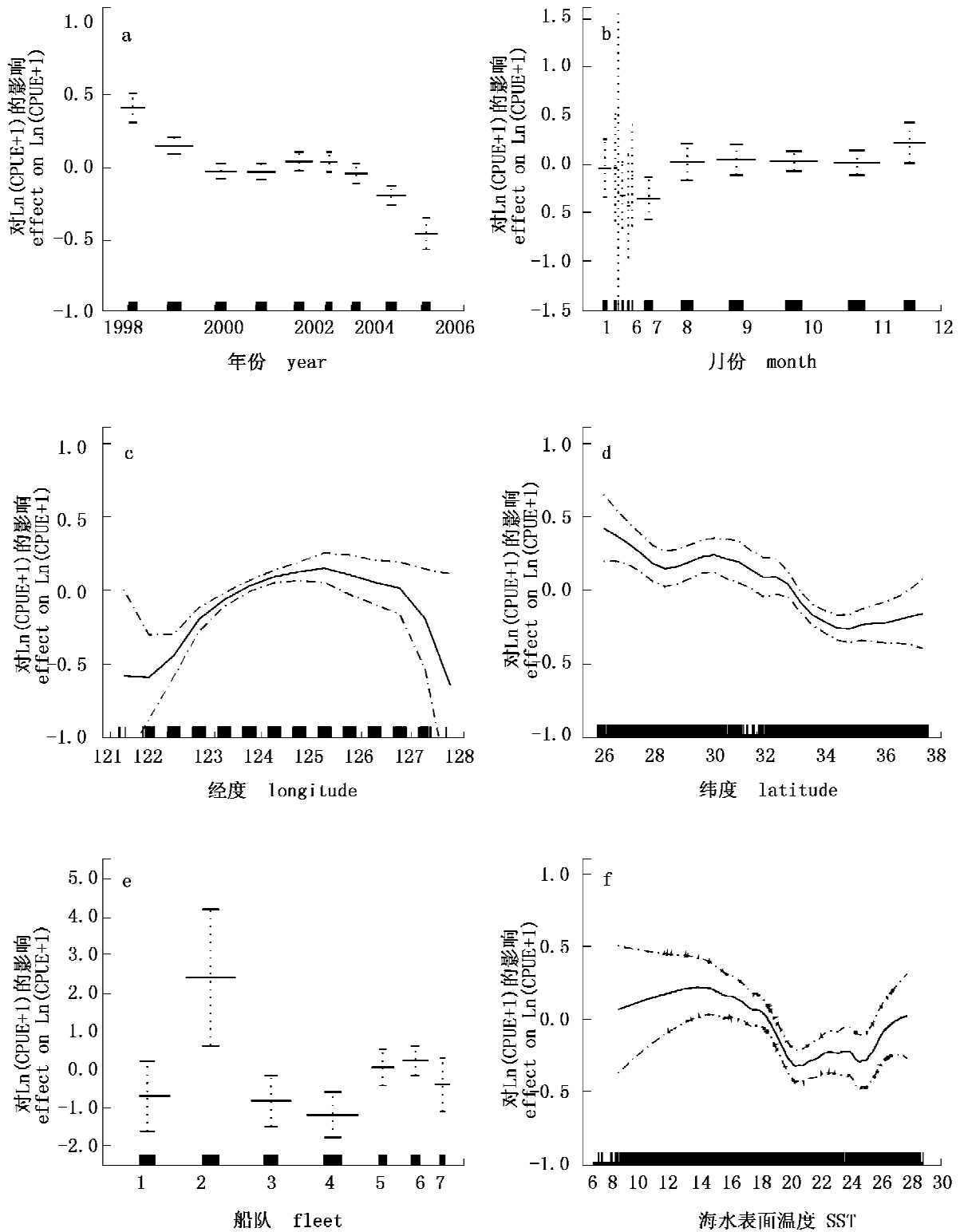


图2 东、黄海鲈鱼灯光围网渔业时空、捕捞渔船参数对 CPUE 的影响

a; 年; b; 月; c; 经度; d; 纬度; e; 船队; f; SST。图中虚线表示 95% 的置信区间

Fig.2 Effects of the following temporal, spatial, environmental and fisheries operational variables on chub mackerel CPUE derived from the GAM analysis in the East China Sea and Yellow Sea

a. Year; b. Month; c. Longitude; d. Latitude; e. Fleet; f. SST. Dashed lines indicate 95% confidence intervals

除 2004 年外,经 GAM 模型标准化后的 CPUE 明显低于名义 CPUE(图 3a、3b)。名义 CPUE 和标准化后的 CPUE 均具有明显的季节变化。标准化后的年平均 CPUE 在各年间波动较大,1998 年和 1999 达到了最高点,但 2002 年就

急剧下降。尽管 2002 年的年均 CPUE 恢复到 1998 年的水平,但之后仍持续下降。从总体上看,标准化后的 CPUE 自 1999 年后就逐年下降,并且 2006 年出现了最大降幅。

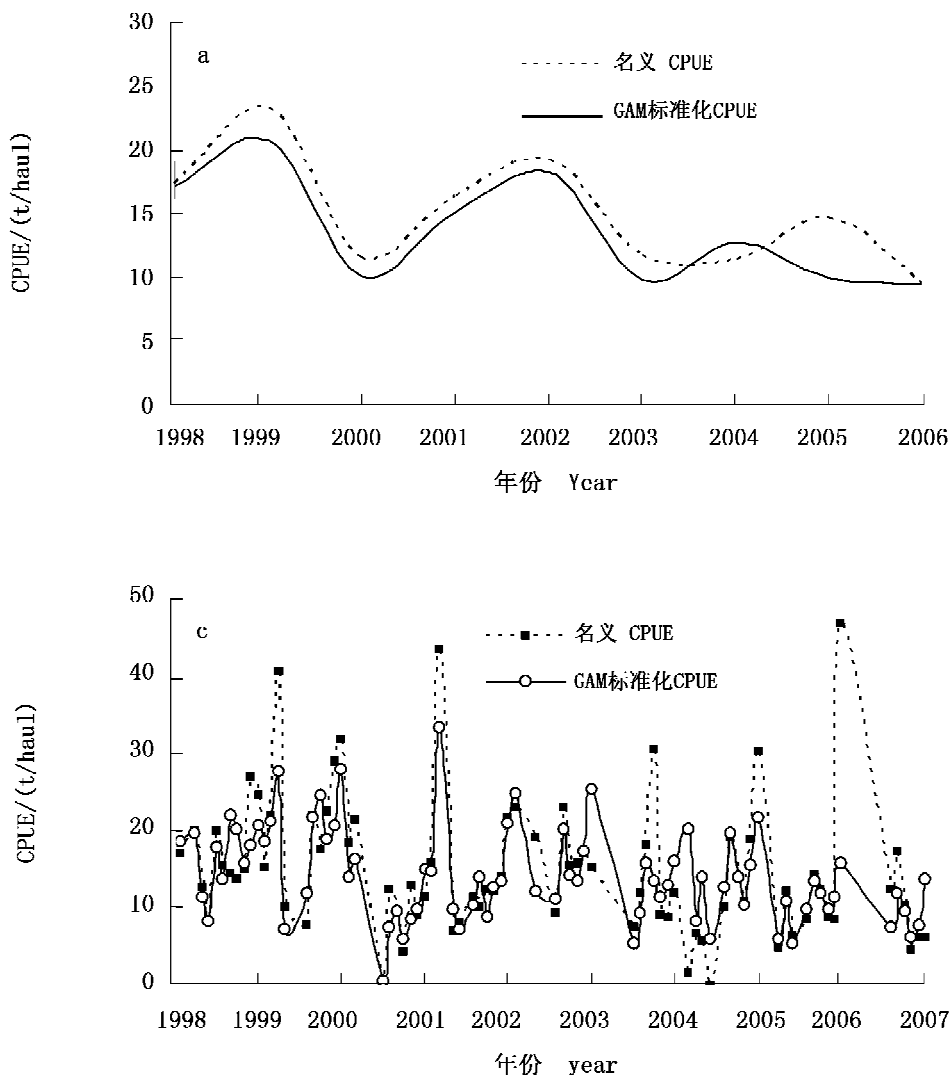


图 3 1998 - 2006 年东、黄海鲈鱼灯光围网渔业名义 CPUE 与标准化后 CPUE 的关系

a: 年均 CPUE; b: 月均 CPUE

Fig.3 Relationships between nominal CPUE and GAM-standardized CPUE in the Chinese large lighting-purse seines during 1998 - 2006

a. annual CPUE; b. monthly CPUE

### 3 讨论

东、黄海鲈鱼资源及其分布受很多因素的影响,如经度、纬度、季节、海洋环境条件

等<sup>[14-17, 20-23]</sup>。而捕捞率的季节变化和年变化又受到捕捞渔船的技术性能以及资源和船队的空间分布动态的影响<sup>[2]</sup>。研究结果表明,年、月、经度、纬度、SST 以及船队与年和月的交互效应在影

响灯光鲈鱼围网渔业 CPUE 方面扮演了重要角色。

### 3.1 时间因素对 CPUE 的影响

生产统计表明,1998-2006年间 CPUE 出现年间和月间的变动,1998-2000年 CPUE 持续下降,2001-2004年 CPUE 保持相对稳定,2004年后 CPUE 又出现了较大幅度的下降(图 2a)。GAM 模型的分析表明,年效应是影响 CPUE 的最主要因素(表 3)。资源量自身的波动以及海洋环境条件、气候、捕捞努力量等随时间的变化,最终导致了 CPUE 的年间以及季节间的波动。对于东、黄海鲈鱼资源,捕捞努力量的变化可能是导致 CPUE 的年间波动、下降的主要原因。2000年以后,我国大型灯光围网的规模基本保持不变(22到24组),2000-2004年浙江省群众小型灯光围网渔业的网组数保持稳定增长,但2005年网组数猛增到600组,较2004年增长了一倍<sup>[24]</sup>。此外,每年3到6月,在浙江近海,大量幼鱼被拖网捕捞,对鲈鱼补充量产生很大的影响,可能也是大型灯光围网渔业 CPUE 持续下降的重要原因之一。

鲈鱼的季节性洄游以及大型灯光围网渔业生产作业时间是 CPUE 季节波动的主要原因,因而时间变量月对 CPUE 产生影响。GAM 模型标准化的结果表明,月效应对大型灯光围网渔业 CPUE 的影响也较大(表 3)。每年春季,鲈鱼自东海中南部外海的越冬场开始生殖洄游,到达东海中部以及浙江近岸,性腺成熟的鲈鱼即在上述海域产卵,性腺未成熟的鲈鱼则继续向北洄游进入黄海;产完卵的鲈鱼在产卵广泛分布在东海中索饵,秋季向北洄游到达黄海;冬季返回东海的越冬场<sup>[22-23, 25]</sup>。我国大型灯光围网作业时间从每年7月持续到次年1月。随着季节变换和鲈鱼的洄游分布,作业渔场由南向北逐渐转移:夏季作业渔场在东海中部,秋初在东海北部、长江口渔场,秋末到冬季在黄海。8月份由于补充群体的逐步加入,CPUE 开始增加。鲈鱼是一种生长速度较快的鱼类,特别是在第一年,幼鲈自春季孵化后到8月份体重可达 100 g<sup>[25-26]</sup>,从而成为新的补充群体被灯光围网捕捞。

### 3.2 空间因素对 CPUE 的影响

在 GAM 模型中,空间变量相对时间变量对 CPUE 的影响较小,CPUE 在中部(123°~126°E, 26°~31°N)高而在东、黄海西部近海及东部外海

低。在纬度方向上,CPUE 南高北低至,主要与东海的海流和水团有关<sup>[20, 25]</sup>。东海存在多种不同性质的水团和海流,比如黑潮、台湾暖流、长江冲淡水、黑潮冷水团等,这些水团在东海交汇形成了海洋锋面,为鲈鱼提供了良好的栖息环境。锋面的季节变动同样对鲈鱼的分布和移动产生影响<sup>[25-26]</sup>。Park 等<sup>[27]</sup>报道韩国南部水域由于存在水温锋面从而形成了鲈鱼渔场,高 CPUE 和水平水温梯度有关。这表明鲈鱼根据锋面的位置调整自身的空间分布,可能与锋面附近海域浮游动物生物量和水温的时空变化有关。

### 3.3 捕捞船队对 CPUE 的影响

船队对 CPUE 的影响仅次于年(表 3),这反映了船队间渔获率的差异(图 2c)。这种差异主要归因于不同船队渔船的马力 and 围网尺寸不同。研究表明<sup>[28-29]</sup>,捕捞能力的改变会导致渔获率的改变。更大的马力网具尺寸意味着放网速度更快、围网包围的水体面积也更大,不但减少了捕捞对象的逃逸率而且增加了被围捕对象的数量。与其它船队相比,船队 2 的 CPUE 最高,但其渔船马力和围网也最大。需要指出的是,由于缺乏捕捞设备、技术装备(探渔仪、声纳、全球定位系统 GPS 等)的详细信息以及船员和船长的经验难以量化,对造成 CPUE 在其它船队间波动的原因还无法解释清楚。船队 4 的 CPUE 最低可能与渔船和捕捞设备的老化有关。船队 4 的渔船船龄已经超过 25 年,其主机和其它设备老化严重。

对于变量间的交互效应,通常很难解释,甚至对某些交互效应根本不能给出合理的解释<sup>[4]</sup>。本文 GAM 分析结果表明,船队和时间变量的交互效应对 CPUE 有显著影响,这可能反映了鲈鱼灯光围网渔业在 1998-2006 年间的变化,包括与捕捞能力有关的捕捞设备的更新换代,比如建造新船淘汰旧船、更换功率更强的探鱼仪和声纳等。Maunder 等<sup>[4]</sup>指出,年和渔船的交互效应可能跟以下因素有关:不同大小的船捕捞不同大小的鱼、捕捞地点的不同、一些渔民更新了捕捞设备而另一些则没有。

### 3.4 环境变量对 CPUE 的影响

GLM 模型分析结果表明,SST 是显著性变量但 SSTA 不是。在 GAM 模型中,SST 仍旧是显著性变量,但与其它变量相比,SST 对 CPUE 总偏差的解释率最小,对 CPUE 的影响也最小。鲈鱼

分别在 12 ~ 16 °C 和大于 28 °C 的水温范围内捕获的较多(图 2f)。GAM 得到的 CPUE 与 SST 的关系图表明,在东海夏季 CPUE 随 SST 升高而增加,而在黄海冬季 CPUE 随水温的降低而增加。高 CPUE 的最适 SST 的范围随季节变化而变化:7-9 月 SST 范围为 26 ~ 30 °C;10-11 月为 14 ~ 20 °C;12 月-次年 1 月为 10 ~ 14 °C。本文的结果与 Park 等<sup>[27]</sup>的研究结果基本相同。

SST 是决定许多中上层鱼类分布和资源量的重要因素,比如沙丁鱼<sup>[17, 30-31]</sup>、箭鱼<sup>[12-13]</sup>、竹筴鱼和鳀鱼<sup>[32]</sup>。虽然 GAM 分析显示 SST 的影响很小,但高 CPUE 却出现在与 SST 密切相关的锋面海域。张孝威<sup>[25]</sup>指出鲈鱼对 SST 变化非常敏感,鲈鱼的洄游、生殖、都和水温有密切关系。作为一种中上层鱼类,鲈鱼受环境条件的影响非常大,尤其是 SST 以及和 SST 有关的其它环境条件。Parrish 等<sup>[33]</sup>发现加利福尼亚海域的鲈鱼补充量在 1931-1938 年间增加和期间产卵场水温升高有关。Ashton 等<sup>[34]</sup>报道 1982-1984 年由于厄尔尼诺-南方涛动现象的发生,东北太平洋水温升高,鲈鱼分布范围比常年向北扩展了很多。1999 年鲈鱼灯光围网渔业产量急剧增加,可能与 1998 年的厄尔尼诺事件有关。1998 年春季鲈鱼产卵场水温比常年偏高,幼鲈生长速度加快,死亡率降低,而夏季长江入海径流量的增加又为浮游生物的生长提供了有利条件,从而保障了鲈鱼的食物供给。Tsai 等<sup>[35]</sup>研究表明黑潮和台湾暖流与北赤道流和厄尔尼诺-南方涛动现象有关,最终影响了西太平洋地区的气候和渔业资源。

#### 参考文献:

- [1] Watanabe C, Yatsu A, Watanabe Y. Changes in growth with fluctuation of Chub mackerel abundance in the Pacific waters off central Japan from 1970 to 1997 [R]. PicesReport 20, Report of 2001 Bass/model, monitor and rex workshops, and the 2002 model/rex workshop, 2000, 60-62.
- [2] Hilborn R, Walters C J. Quantitative fisheries stock assessment choice, dynamics and uncertainty [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001: 321-323.
- [3] Nishida T, Chen D G. Incorporating spatial autocorrelation into the general linear model with an application to the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) longline CPUE data [J]. Fisheries Research, 2004, 70: 265-274.
- [4] Maunder M N, Punt A E. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches [J]. Fisheries Research, 2004, 70: 141-159.
- [5] Rodríguez-Marín E, Arrizabalaga H, Ortiz M, et al. Standardization of bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, catch per unit effort in the baitboat fishery of the Bay of Biscay (Eastern Atlantic) [J]. ICES Journal of Marine Science, 2003, 60: 1216-1231.
- [6] Ortiz M, Arocha F. Alternative error distribution models for standardization of catch rates of non-target species from a pelagic longline fishery: billfish species in the Venezuelan tuna longline fishery [J]. Fisheries Research, 2004, 70: 275-294.
- [7] Howell E A, Kobayashi D R. El Niño effects in the Palmyra Atoll region: oceanographic changes and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) catch rate variability [J]. Fisheries Oceanography, 2006, 15: 477-489.
- [8] Maunder M N, Langley A D. Integrating the standardization of catch-per-unit-of-effort into stock assessment models: testing a population dynamics model and using multiple data types [J]. Fisheries Research, 2004, 70: 389-395.
- [9] Venables W N, Dichmont C M. GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research [J]. Fisheries Research, 2004, 70: 319-337.
- [10] Chambers J M, Hastie T J. Statistical Models [M]. London: Chapman and Hall, 1997.
- [11] Quinn G P, Keough M J. Experimental design and data analysis for biologists [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- [12] Bigelow K A, Boggs C H, He X. Environmental effects on swordfish and blue shark catch rates in the US North Pacific longline fishery [J]. Fisheries Oceanography, 1999, 8: 178-198.
- [13] Damalas D, Megalofonou P, Apostolopoulou M. Environmental, spatial, temporal and operational effects on swordfish (*Xiphias gladius*) catch rates of eastern Mediterranean Sea longline fisheries [J]. Fisheries Research, 2007, 84: 233-246.
- [14] 洪华生,何发祥,杨圣云. 厄尔尼诺现象和浙江近海鲈鳎鱼渔获量变化关系—长江口. ENSO. 渔场学问题之二 [J]. 海洋湖沼通报, 1997, 4: 9-16.
- [15] Yatsua A, Mitana T, Watanabe C, et al. Current



- stock status and management of chub mackerel, *Scomber japonicus*, along the Pacific coast of Japan— an example of allowable biological catch determination [J]. *Fisheries Science*, 2002, 68 (Suppl.): 93–96.
- [16] Hiyama Y, Yoda M, Ohshimo S. Stock size fluctuations in Chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and the Japan, East Sea [J]. *Fisheries Oceanography*, 2002, 11: 347–353.
- [17] Yatsu A, Watanabe T, Ishida M, *et al.* Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management [J]. *Fisheries Oceanography*, 2005, 14: 263–278.
- [18] Sun C H, Chiang F S, Soac E T. The effects of El Niño on the mackerel purse-seine fishery harvests in Taiwan: An analysis integrating the barometric readings and sea surface temperature [J]. *Ecological Economics*, 2006, 56: 268–279.
- [19] Hansen D V, Poulain P M. Processing of WOCE/TOGA drifter data [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1996, 13: 900–909.
- [20] 杨红, 章守宇, 戴小杰, 等. 夏季东海水团变动特征及对鲱鲹渔场的影响 [J]. *水产学报*, 2001, 25(3): 209–21.
- [21] 由上龍嗣, 檜山義明, 依田真里, 等. 平成16年マサバ対馬暖流系群の資源評価 [R/OL]. わが国周辺の水産資源の現状を知るために, 2005, 1–27 [2005–3–11]. <http://abchan.job.affrc.go.jp/digests16/details/1606.pdf>.
- [22] 由上龍嗣, 檜山義明, 依田真里, 等. 平成17年マサバ対馬暖流系群の資源評価 [R/OL]. わが国周辺の水産資源の現状を知るために, 2006, 1–27 [2006–3–11]. <http://abchan.job.affrc.go.jp/digests17/details/1706.pdf>.
- [23] 崔科, 陈新军. 东、黄海围网渔场鲱鲹鱼产量的年际变动 [J]. *海洋学研究*, 2005, 23(2): 41–49.
- [24] 张洪亮, 周永东, 姚光展. 浙江群众传统灯光围网渔业利用资源状况分析 [J]. *海洋渔业*, 2007, 29: 174–178.
- [25] 张孝威. 鲱鱼 [M]. 北京: 农业出版社, 1983.
- [26] 唐启升. 中国专属经济区海洋生物资源与栖息环境 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [27] Park J H, Choi K H. A study on the formation of fishing ground and the prediction of the fishing conditions of mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn [J]. *Bulletin of National Fisheries Research and Development Agency, Korea*, 1995, 49: 25–35.
- [28] 陈亚瞿, 徐兆礼. 南黄海、东海鲱鲹索饵场浮游动物生态特征 [J]. *应用生态学报*, 1990, 1(4): 327–332.
- [29] Salthaug A, Godo O R. Standardization of commercial CPUE [J]. *Fisheries Research*, 2001, 49: 271–281.
- [30] Wada T, Matsubara T, Matsumiya Y, *et al.* Influence of environment on stock fluctuations of Japanese sardine, *Sardinops melanostictus* [J]. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1995, 121: 387–394.
- [31] Jacobson L D, MacCall A. Stock-recruitment models for Pacific sardine (*Sardinops sagax*) [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1995, 52: 66–577.
- [32] Ñiquen M, Bouchon M. Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters [J]. *Deep-Sea Research II*, 2004, 51: 563–574.
- [33] Parrish R H, MacCall A D. Climatic variation and exploitation in Pacific mackerel fishery [R]. *California Department of Fish and Game, Fisheries Bulletin*, 1978, 167.
- [34] Ashton H J, Haist V, Ware D M. Observations on abundance and diet of Pacific mackerel (*Scomber japonicus*) caught off the west coast of Vancouver Island, September 1984 [R]. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1394*. 1985.
- [35] Tsai C F, Chen C Y, Chen C P, *et al.* Fluctuation in abundance of larval anchovy and environmental conditions in coastal waters off south-western Taiwan as associated with the El Niño-Southern Oscillation [J]. *Fisheries Oceanography*, 1997, 6: 238–249.

**CPUE standardization of chub mackerel (*Scomber japonicus*)  
for Chinese large lighting-purse seine fishery  
in the East China Sea and Yellow Sea**

LI Gang<sup>1</sup>, CHEN Xin-jun<sup>1,2,3</sup>, TIAN Si-quan<sup>1,2</sup>

(1. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. The Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission,  
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education,  
Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Chub mackerel (*Scomber japonicus*) is one of the important pelagic fishery resources in the China's coastal waters. It is needed to standardize the catch per unit effort (CPUE) in the stock assessment. Many factors including seasonal, regional and marine environmental conditions affect the CPUE. In this paper, generalized linear model (GLM) and generalized additive model (GAM), by which temporal, spatial, environmental, and fisheries vessels variables were chosen for analysis, were used to standardize CPUE of chub mackerel for Chinese large lighting-purse seine fishery in the East China Sea and Yellow Sea from 1998 to 2006, and evaluate impacts of environmental variables on CPUE. Firstly, GLM was applied to evaluate impacts of temporal, spatial, environmental, fisheries operational variables on the CPUE, and the significant factors. Then the significant variables were used in the GAM one by one to select an optimal GAM by using the Akaike Information Criterion (AIC). The derived GAM was used to quantify the effects of temporal, spatial, environmental, and fisheries operational variables on the Chub mackerel catch rates and to derive standardized CPUE. The GLM analysis revealed the importance of eight variables ranked by decreasing magnitude: Year, Fleet, Fleet × Year, Month, Fleet × Month, Longitude, Latitude and Sea surface temperature. The final GAM including eight significant variables derived from GLM analysis was the optimal model based on AIC and explained 27.78% of the variance in nominal CPUE. GAM analysis indicated that high CPUEs were found in the central East China Sea at sea surface temperatures ranging from 28 to 31 °C in summer and in the Yellow Sea at sea surface temperatures from 12 to 16 °C in winter. The standardized CPUE tended to decrease from 1998 to 2006, which might result from increased fishing efforts.

**Key words:** *Scomber japonicus*; catch per unit effort (CPUE); Chinese large lighting-purse seine; generalized linear model (GLM); generalized additive model (GAM)