

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15134

南海鳶乌贼产量与表温及水温垂直结构的关系

晏磊¹, 张鹏¹, 杨炳忠¹, 陈森¹, 李亚男², 李渊³, 宋普庆³, 林龙山³

1. 中国水产科学研究院 南海水产研究所, 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州 510300;

2. 中国科学院 南海海洋研究所, 海洋环境检测中心, 广东 广州 510301;

3. 国家海洋局 第三海洋研究所, 海洋生物与生态实验室, 福建 厦门 361005

摘要: 根据2012年9—10月秋季航次及2013年3—4月春季航次南海灯光罩网船各站点的水温数据及生产数据, 对鳶乌贼(*Symplectoteuthis oualaniensis*)产量与表温(SST)及水温垂直结构的关系进行了分析。结果显示, 春季是鳶乌贼的高产渔期, 总产量及平均网产都明显高于秋季; 鳶乌贼作业渔场的季节变化较为明显, 春季南沙和西中沙海域都有渔场分布, 产量主要集中在10°~15°N、111°~117°E海域内, 而秋季鳶乌贼产量主要集中在13°~15°N、117°~118°E海域; 鳶乌贼春季和秋季作业渔场的SST范围有所差异, 春季作业渔场表温范围为25.6~29.6℃, 秋季作业渔场表温范围为27.6~30.0℃, 但最适表温都分布于28.5~29.5℃的海域; 不同季节作业渔场水温垂直结构差异明显, 从5~50 m水温垂直梯度来看, 春季鳶乌贼0.00~0.05℃/m组距内平均网产较高, 且随着水温垂直梯度的增加而减少; 而秋季鳶乌贼平均网产随水温垂直梯度的增加而增加, 并于0.15~0.20℃/m组距内达到最高。灰色关联度分析表明, 5~50 m水温垂直梯度是对鳶乌贼产量影响最显著的因子, 关联度为0.84, 纬度、5~100 m水温垂直梯度、表温和经度影响次之。

关键词: 灯光罩网; 鳶乌贼; 表温; 水温垂直结构; 南海

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)02-0469-09

近年来, 由于过度捕捞及环境污染等原因, 南海近海传统渔业资源出现衰退, 越来越多的渔船开始走向外海, 寻找新的出路。南海中南部深水海区的鳶乌贼资源丰富, 具有巨大的开发潜力^[1]。中国南海沿海渔民从2004年开始利用灯光罩网渔船捕捞西中沙海域鳶乌贼, 因其生产适应性强、捕捞效益稳定, 至2011年灯光罩网渔船捕捞海域已拓展至南沙。目前, 鳶乌贼灯光罩网捕捞作业已成为南海海外渔业的发展重点。

鳶乌贼(*Symplectoteuthis oualaniensis*)是暖水性大洋种类, 具有明显的昼夜垂直移动现象, 因此水温的分布及其垂直结构会对鳶乌贼的产

量分布和渔场形成产生一定的影响。鳶乌贼主要分布在印度洋及太平洋的热带和亚热带海域, 过去文献对其相关研究主要集中在印度洋西北海域(包括阿拉伯海)^[2-8], 而对于南海鳶乌贼, 国内虽已有一些学者对灯光罩网渔具渔法^[9-10]、渔获组成^[11-13]、捕捞能力^[14]、沉降性能^[15]、鳶乌贼渔业生物学^[16]及开发前景^[1]等进行了分析研究, 但对于南海鳶乌贼的产量与环境条件的影响关系的研究尚未见报道。因此, 该研究从灯光罩网鳶乌贼产量与表温(sea surface temperature, SST)及水温垂直结构的关系来分析其南海渔场形成机制, 其研究结果对今后该海域的渔业生产具有指导作用。

收稿日期: 2015-04-07; 修订日期: 2015-06-10.

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2012AA092303); 全球变化与海气相互作用专项(GASI-02-SCS-YSWspr, GASI-02-SCS-YSWaut); 国家科技支撑计划项目(2013BAD13B06); 中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室开放基金资助项目(LMB141004).

作者简介: 晏磊(1988-), 男, 助理研究员, 从事渔具渔法研究. E-mail: yanlei@scsfri.ac.cn

通信作者: 林龙山, 研究员. E-mail: linlongshan@tio.org.cn

1 材料和方法

1.1 材料

生产数据来源于南海灯光罩网船的海上调查数据, 数据内容包括作业日期、纬度、经度和网次渔获组成。船只每晚作业网次 1~4 网次, 其中第 1 网为调查网次, 光诱时间 2 h, 其他为生产网次, 灯光诱鱼时长不等, 故只选择第 1 网所捕获的鳶乌贼进行相关分析。

调查船为广西北海市的“桂北渔 80208”号渔船, 钢质, 船长 39.02 m, 型宽 7.2 m, 型深 4.1 m, 总吨 416 t, 撑杆舷外有效长度 36 m, 主机 2 台, 每台功率 201.0 kW。船上配 460 盏金属卤化物集鱼灯(每盏集鱼灯功率 1 kW)及 HE-670 型垂直探鱼仪、GPS 导航仪等仪器设备, 作业时打开集鱼灯 230 盏。

调查时间分为两个航次, 分别为 2012 年 9 月 1 日—2012 年 10 月 21 日进行的秋季航次和 2013 年 3 月 5 日—2013 年 4 月 17 日进行的春季航次, 秋季航次历时 51 d, 调查 42 网次, 春季航次历时 44 d, 调查 42 网次。调查海域主要位于南海中南部海域, 经纬度范围为 5°25′~16°24′N、108°58′~117°31′E(图 1)。

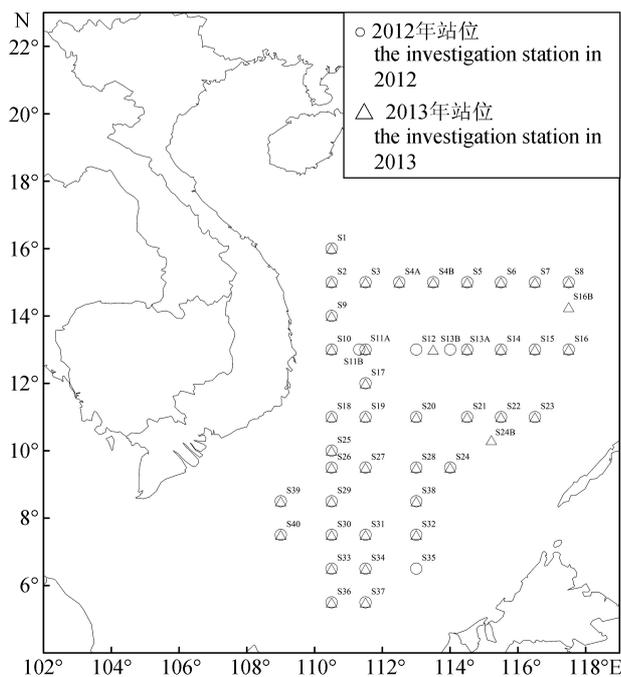


图 1 南海鳶乌贼调查站位图

Fig. 1 Investigation stations in the South China Sea for *Symplectoteuthis oualaniensis*

水温数据来源于各个站点的实测水温和水深数据, 测试仪器为加拿大 RBR 公司生产的 TDR-2050 型微型温度深度计(简称 TDR, 下同), 仪器可测定水深范围为 10~740 m, 测试精度为满量程的 0.05%, 分辨率为满量程的 0.001%。

1.2 分析方法

1.2.1 产量沿经纬度变化 渔场是指在海洋中有捕捞价值的鱼群存在, 且可以实地捕捞作业, 获得一定数量和质量的渔业产品的某一区域, 其中能够获得高产的海域就称为“中心渔场”^[17]。将各站点的产量数据按经纬度 $1 \times 1^\circ$ 进行统计, 统计后的总产量除以站点数量得到平均网产, 取经纬度中值为横坐标, 平均网产为纵坐标, 得出平均网产沿经纬度的变化分析图, 平均网产最高的海域即为其中心渔场。

1.2.2 水温垂直结构分析 计算各站点 5~50 m、5~100 m 和 50~100 m 水层的水温垂直梯度, 即两层温度之差除以两层距离, 分别采用 ΔT_{5-50} 、 ΔT_{5-100} 和 ΔT_{50-100} 来表示, 分析各个水层秋季和春季两个航次的水温垂直梯度。

1.2.3 产量与 SST 及水温垂直梯度的关系分析 鱼类最大生长率和摄食率往往出现在比较狭窄的水温范围内, 偏离最适水温会使鱼类的生长率和摄食率下降。且研究表明许多鱼类的喜好温度常常就是其最适温度^[5, 18], 而在渔业生产中, 常常把对于某一鱼类具有高产量时的水温称为鱼类的最适温度^[17]。通过选取 S15 和 S22 两个代表性站点, 分析秋季和春季两个航次中鳶乌贼产量与 SST 及 ΔT_{5-50} 、 ΔT_{5-100} 和 ΔT_{50-100} 之间的关系, 可以得出鳶乌贼的最适 SST 范围以及各水层的水温垂直梯度。

1.2.4 灰色关联度分析 利用灰色关联度分析灯光罩网鳶乌贼各站点产量与月份、纬度、经度、SST、50 m 水温 T_{50} 、100 m 水温 T_{100} 、 ΔT_{5-50} 、 ΔT_{5-100} 和 ΔT_{50-100} 之间的关系, 从中找出影响灯光罩网鳶乌贼产量大小的主要因子。灰色关联度的计算按陈新军^[19]提供的方法计算。原始数据变换采用初值化变换。分辨系数取 0.5。其具体方法如下。

先假设鳶乌贼平均网产与各因子间满足系统行为序列

$$X_0 = [x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)]$$

$$X_1 = [x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n)]$$

.....

$$X_i = [x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)]$$

.....

$$X_m = [x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n)]$$

其中, X_0 为母序列, 即鳶乌贼平均网产, X_i 为子序列, 即分别为月份、纬度、经度、SST、50 m 水温 T_{50} 、100 m 水温 T_{100} 、 $\Delta T_{5\sim 50}$ 、 $\Delta T_{5\sim 100}$ 和 $\Delta T_{50\sim 100}$, $x_i(k)$ 为因素 x_i 在 k 时刻的观测数据。

由于系统汇总各因素的量纲(或单位)不一样, 故先将其进行初值化变换, 变换公式为:

$$X'_i = X_i / x_i(1) = [x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(n)],$$
$$i = 0, 1, 2, \dots, m$$

则其差序列为: $\Delta_i(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)|$; $\Delta_i = [\Delta_i(1), \Delta_i(2), \dots, \Delta_i(n)]$; $k = 1, 2, \dots, n; i = 0, 1, 2, \dots, m$ 两极最大差与最小差为: $M = \max_i \max_k \Delta_i(k), m = \min_i \min_k \Delta_i(k)$

记经数据变换的母序列为 $\{X_0(t)\}$, 子序列为 $\{X_i(t)\}$, 则在时刻 $t=k$ 时母序列 $\{X_0(t)\}$ 与子序列 $\{X_i(t)\}$ 的关联系数 $\gamma_{0i}(k)$ 为: $\gamma_{0i}(k) = \frac{m + \xi M}{\Delta_i(k) + \xi M}$, $\xi \in (0, 1)$ 为分辨系数, $k = 1, 2, \dots, n; i = 0, 1, 2, \dots, m$; 关联系数反应两个被比较序列在某一时刻的紧密程度^[17]。

则其关联度为 $L_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma_{0i}(k)$, $k = 1, 2, \dots, n$; $i = 0, 1, 2, \dots, m$ 。

2 结果与分析

2.1 产量沿经纬度的分布

南海灯光罩网鳶乌贼在秋季和春季的渔获产量相差较大, 春季鳶乌贼总产量及平均网产都明显高于秋季。调查期间, 春季鳶乌贼产量共计 7237.08 kg, 平均网产为 172.31 kg/net, 而秋季鳶乌贼产量只有 4630.93 kg, 平均网产为 102.91 kg/net。

从纬度上看, 除了 13°N 和 14°N 海域外, 春季鳶乌贼平均网产都要高于秋季, 且春季鳶乌贼产量分布更广泛(图 2)。春季鳶乌贼产量主要集中于 10°~15°N 海域, 平均网产都在 140 kg/net 以上, 并于 11°N 海域达到最高, 为 318.75 kg/net; 而秋季鳶乌贼产量主要集中于 13°~15°N 海域内, 平均网产都在 180 kg/net 以上, 并于 14°N 海域达到最高, 为 258.75 kg/net。

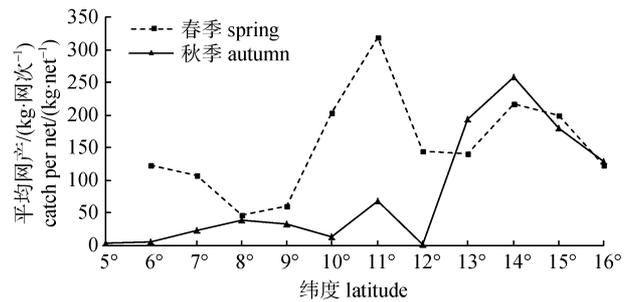


图 2 鳶乌贼平均网产与纬度的分布关系

Fig. 2 The relationship between catch per net of *Symplectoteuthis oualaniensis* and latitude

从经度上看, 春季鳶乌贼平均网产也高于秋季, 且春季鳶乌贼产量分布也更加广泛(图 3)。春季鳶乌贼产量在 111°~117°E 海域范围内都有分布, 且平均网产都在 100 kg/net 以上, 并在 114°E 海域达到最高, 为 498.75 kg/net; 而秋季鳶乌贼平均网产只在 111°E、114°E 和 117°~118°E 海域内达到 100 kg/net 以上, 其他海域鳶乌贼分布较少。

2.2 产量与 SST 的关系

南海灯光罩网在不同季节鳶乌贼产量有所不

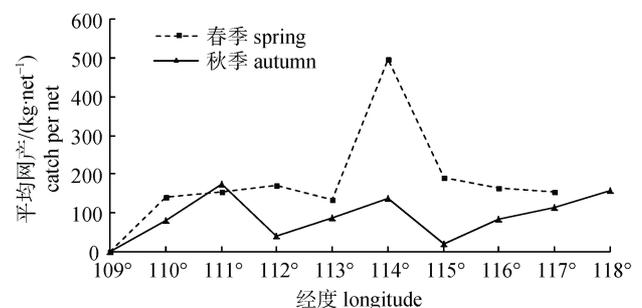


图 3 鳶乌贼平均网产与经度的分布关系

Fig. 3 The relationship between catch per net of *Symplectoteuthis oualaniensis* and longitude

同, 其作业渔场 SST 范围也有所差异, 但是其所处最适 SST 范围基本一致(图 4)。鳶乌贼在春季作业渔场 SST 范围为 25.6~29.6℃, 最适 SST 为 28.5~29.5℃, 且平均网产在 29.4℃处达到最高, 达 689.63 kg/net 以上; 而在秋季作业渔场 SST 范

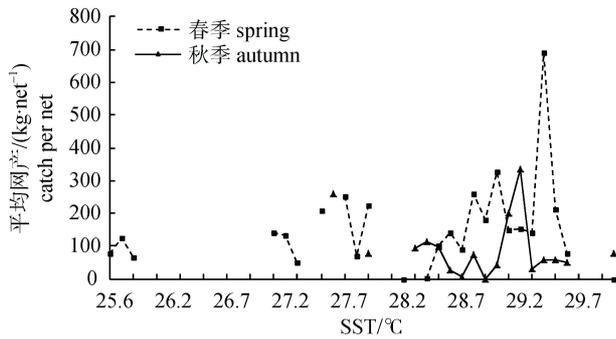


图 4 鳶乌贼平均网产与 SST 的分布关系

Fig. 4 The relationship between catch per net of *Symplectoteuthis oualaniensis* and SST

围为 27.6~30.0℃, 最适 SST 为 28.5~29.5℃, 且平均网产在 29.2℃处达到最高, 为 335.43 kg/net。

2.3 水温垂直结构分析

选取 S22 (11°N、115°30'E)、S15 (13°N、116°30'E)两个站点作为代表性站点, S22 站点所在纬度平均网产最高, 而 S15 站点所在纬度春秋季平均网产与其他站点有所差异, 分析其水温垂直分布图(图 5-图 8)。由图可知, S15 站点秋季水温在 40 m 左右开始急剧下降, 而春季不到 20 m 左右就开始急剧下降, 这可能是造成该站点所处纬度秋季平均网产高于春季的主要原因, 而 S22 站点春、秋季差异不大, 都在 60 m 水层左右开始急剧下降。S15 和 S22 两个站点春秋季各水层的平均水温垂直梯度列于表 1。由表可知, 两个站点春秋季的温跃层都在 50~100 m 水层内形成, 且春季的温跃层强度高于秋季。

表 1 S15 和 S22 站点各水层的平均水温垂直梯度

Tab. 1 The average vertical temperature gradients of stations S15 and S22 in different water layers

水层 water layers	°C·m ⁻¹			
	S15		S22	
	春季 spring	秋季 autumn	春季 spring	秋季 autumn
5~50 m	0.092	0.009	0.049	0.022
50~100 m	0.278	0.260	0.324	0.207
>100 m	0.149	0.079	0.117	0.118

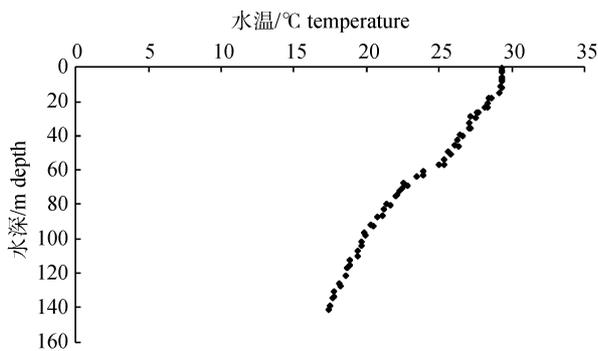


图 5 春季 S15 站点的水温垂直分布

Fig. 5 The distribution of vertical temperature of S15 in spring

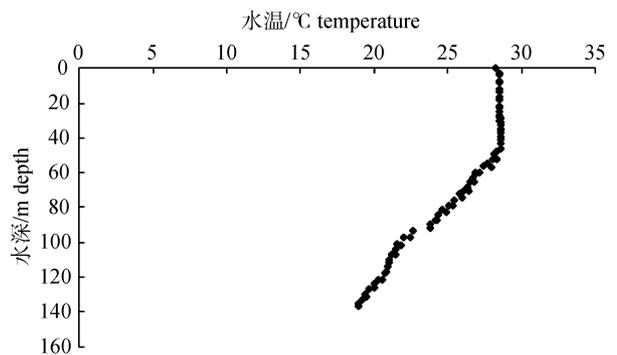


图 6 秋季 S15 站点的水温垂直分布

Fig. 6 The distribution of vertical temperature of S15 in autumn

调查期间, 秋季航次中 9 月份各站点的 ΔT_{5-50} 、 ΔT_{5-100} 和 ΔT_{50-100} 分别为 0.002~0.193℃/m、0.060~0.127℃/m 和 0.054~0.152℃/m, 其 SST 在 28.4~30.0℃间, 10 月份各站点的 ΔT_{5-50} 、 ΔT_{5-100} 和

ΔT_{50-100} 分别为 -0.007~0.140℃/m、0.034~0.102℃/m 和 0.065~0.183℃/m, 其 SST 在 27.6~29.3℃间; 春季航次中 3 月份各站点的 ΔT_{5-50} 、 ΔT_{5-100} 和 ΔT_{50-100} 分别为 0.000~0.081℃/m、0.047~0.103℃/m

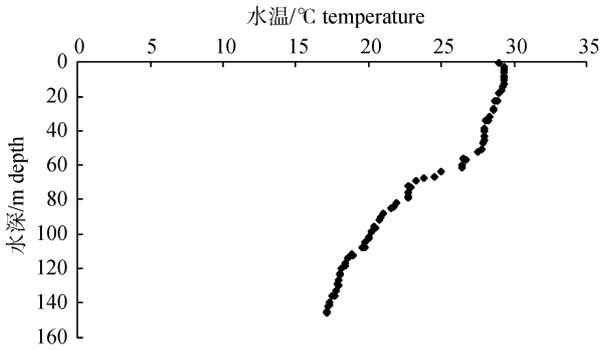


图 7 春季 S22 站点的水温垂直分布

Fig. 7 The distribution of vertical temperature of S22 in spring

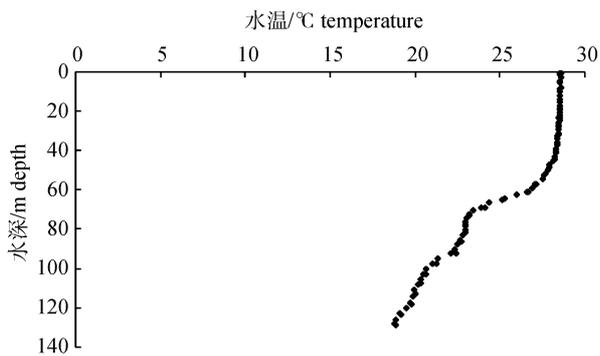


图 8 秋季 S22 站点的水温垂直分布

Fig. 8 The distribution of vertical temperature of S22 in autumn

和 $0.067\sim 0.184\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$, 其 SST 在 $25.6\sim 29.5\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 月份各站点的 $\Delta T_{5\sim 50}$ 、 $\Delta T_{5\sim 100}$ 和 $\Delta T_{50\sim 100}$ 分别为 $0.029\sim 0.088\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 、 $0.051\sim 0.097\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 和 $0.059\sim 0.150\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$, 其 SST 在 $28.9\sim 29.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。表明不同季节作业渔场水温垂直结构差异明显, 秋季航次中 $\Delta T_{5\sim 50}$ 、 $\Delta T_{5\sim 100}$ 和 $\Delta T_{50\sim 100}$ 的波动范围明显高于春季。

2.4 产量与水温垂直梯度的关系

不同季节鸕乌贼产量与 $\Delta T_{5\sim 50}$ 、 $\Delta T_{5\sim 100}$ 和 $\Delta T_{50\sim 100}$ 的分布关系也有所差异。以 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 为组距, 将各个站点的水温垂直梯度进行分组(图 9-图 14), 可以得出: 对于 $\Delta T_{5\sim 50}$, 春季鸕乌贼平均网产随着 $\Delta T_{5\sim 50}$ 的增加而减少, $0.00\sim 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 组距内平均网产较 $0.05\sim 0.10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 高, 达 $178.89\text{ kg}/\text{net}$; 而秋季鸕乌贼平均网产随着 $\Delta T_{5\sim 50}$ 的增加而增加, 并在 $0.15\sim 0.20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 组距内达到最高, 为 $267.30\text{ kg}/\text{net}$ 。对于 $\Delta T_{5\sim 100}$, 春季和秋季鸕乌贼平均网产都随 $\Delta T_{5\sim 100}$ 的增加而增加, 都在 $0.10\sim 0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 组距内

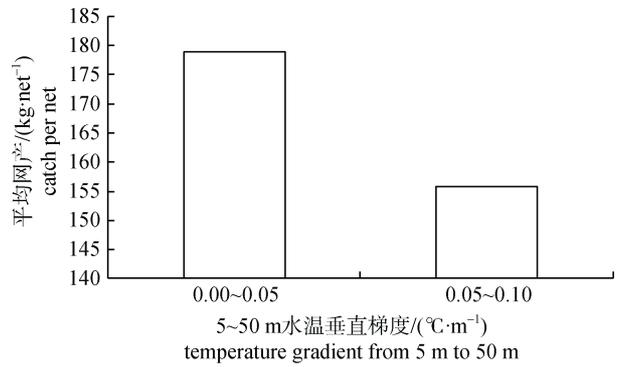


图 9 春季平均网产与 5~50 m 水温梯度的关系

Fig. 9 The relationship between catch per net and temperature gradient from 5 m to 50 m in spring

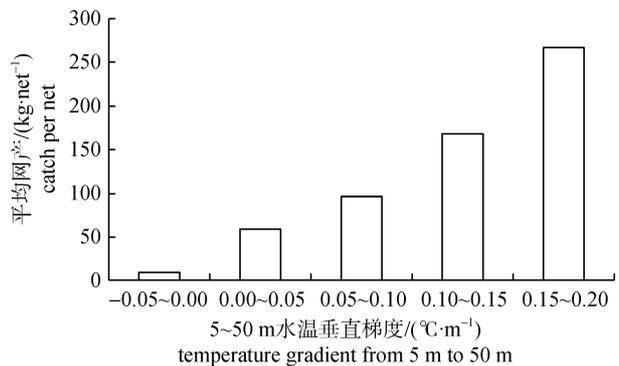


图 10 秋季平均网产与 5~50 m 水温梯度的关系

Fig. 10 The relationship between catch per net and temperature gradient from 5 m to 50 m in autumn

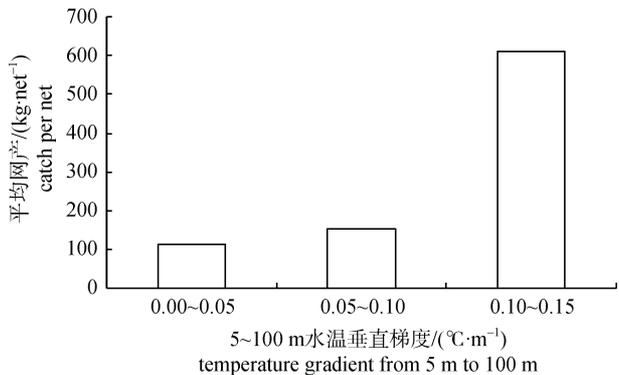


图 11 春季平均网产与 5~100 m 水温梯度的关系

Fig. 11 The relationship between catch per net and temperature gradient from 5 m to 100 m in spring

达到最高, 分别为 $609.90\text{ kg}/\text{net}$ 和 $216.62\text{ kg}/\text{net}$ 。对于 $\Delta T_{50\sim 100}$, 春季鸕乌贼平均网产随 $\Delta T_{50\sim 100}$ 的增加而增加, 在 $0.10\sim 0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 组距内达到最高, 为 $253.61\text{ kg}/\text{net}$; 而秋季鸕乌贼平均网产随 $\Delta T_{50\sim 100}$ 的增加而减少, 在 $0.00\sim 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 组距内达到最高, 为 $153.00\text{ kg}/\text{net}$ 。

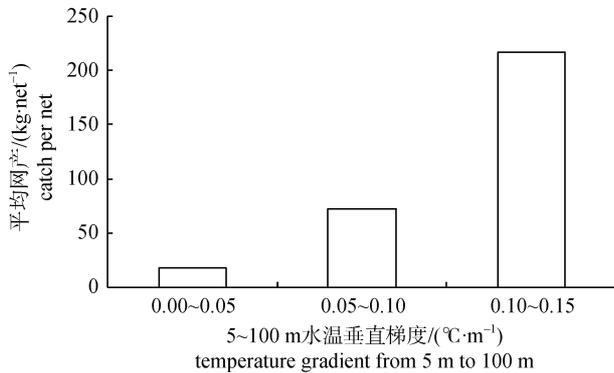


图 12 秋季平均网产与 5~100 m 水温梯度的关系

Fig. 12 The relationship between catch per net and temperature gradient from 5 m to 100 m in autumn

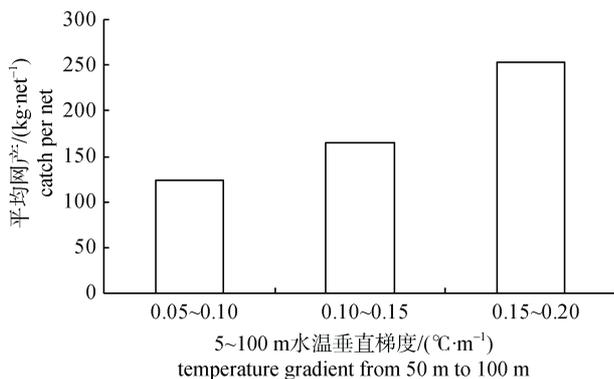


图 13 春季平均网产与 50~100 m 水温梯度的关系

Fig. 13 The relationship between catch per net and temperature gradient from 50 m to 100 m in spring

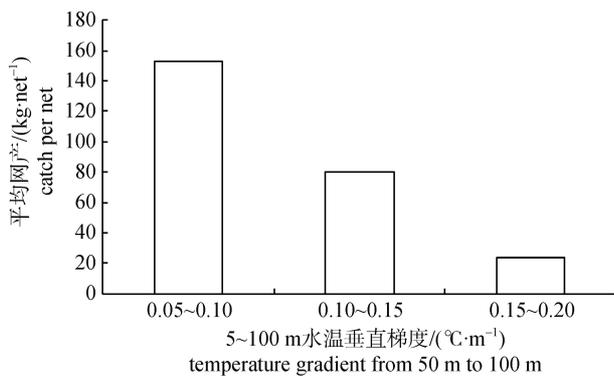


图 14 秋季平均网产与 50~100 m 水温梯度的关系

Fig. 14 The relationship between catch per net and temperature gradient from 50 m to 100 m in autumn

2.5 灰色关联分析

为了明确各因子对南海灯光罩网鸢乌贼产量的影响关系, 该研究对渔期(作业时间)、渔场分布(作业位置)、渔场环境(水温及水温垂直结构)等因

素对鸢乌贼产量的影响程度进行分析, 以鸢乌贼产量为母序列, SST、 $\Delta T_{5\sim 50}$ 、 $\Delta T_{5\sim 100}$ 、 $\Delta T_{50\sim 100}$ 、纬度、经度、 T_{50} 、 T_{100} 和月份为子序列, 分别求得关联度如表 2 所示。

从表 2 可以看出, 影响灯光罩网鸢乌贼产量的因子关联度大小依次如下: $\Delta T_{5\sim 50}$ > 纬度 > $\Delta T_{5\sim 100}$ > SST = 经度 > $T_{50} = T_{100}$ > $\Delta T_{50\sim 100}$ > 月份。表明 $\Delta T_{5\sim 50}$ 是影响鸢乌贼产量最显著的因子, 其次为纬度和 $\Delta T_{5\sim 100}$ 因子, 而月份对鸢乌贼产量的影响最小, 说明南海鸢乌贼产量的月间差异不大。

表 2 产量及其相关因子的关联度值
Tab. 2 Degree of grey incidence between catch and related factors

灰色关联度 degree of grey incidence	鸢乌贼产量 catch of <i>Symplectoteuthis oualaniensis</i>
$\Delta T_{5\sim 50}$	0.84
纬度 latitude	0.83
$\Delta T_{5\sim 100}$	0.82
SST	0.81
经度 longitude	0.81
T_{50}	0.80
T_{100}	0.80
$\Delta T_{50\sim 100}$	0.76
月 month	0.75

3 讨论

南海灯光罩网的快速发展, 带动了南海鸢乌贼资源的高效开发。该研究针对南海中南部海域的灯光罩网鸢乌贼产量进行调查分析, 表明春季鸢乌贼总产量及平均网产都高于秋季, 为高产渔期; 鸢乌贼平均网产沿经纬度的变化显示南海区鸢乌贼分布相对比较分散, 且春季鸢乌贼在纬度和经度上的产量分布更加广泛, 春季鸢乌贼产量主要集中在 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 、 $111^{\circ}\sim 117^{\circ}\text{E}$ 海域内, 而秋季鸢乌贼产量主要集中在 $13^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 、 $117^{\circ}\sim 118^{\circ}\text{E}$ 海域。

鸢乌贼作业渔场最适 SST 在春季和秋季基本一致。虽然调查期间鸢乌贼春季和秋季作业渔场的 SST 范围有所差异, 春季作业渔场 SST 范围为 $25.6\sim 29.6^{\circ}\text{C}$, 秋季作业渔场 SST 范围为 $27.6\sim$

30.0℃, 但最适 SST 都分布于 28.5~29.5℃ 的海域。对比相关研究, 田思泉等^[2]研究得出阿拉伯北部公海海域鳶乌贼中心渔场的适宜 SST 为 27~29℃, Chen 等^[3]、林东明等^[5]得出印度洋西北部海域鳶乌贼作业渔场主要分布的 SST 为 25~26℃ 和 27~28℃ 的海域, 都与南海中南部海域的鳶乌贼作业渔场的适宜 SST 有些微差异, 说明鳶乌贼在不同海域其作业渔场最适 SST 有所不同。而相比其他已开发的头足类种类, 鳶乌贼作业渔场适宜的 SST 最高, 如北太平洋柔鱼 (*Ommastrephes bartrami*) 适宜的 SST 为 11~20℃^[20] 和秘鲁外海茎柔鱼 (*Dosidicus gigas*)^[21] 适宜的 SST 为 17~23℃。

鳶乌贼具有明显的昼夜垂直移动现象, 因此鳶乌贼渔场的形成与上层水温的垂直结构密切相关。研究显示, 鳶乌贼白天栖息于 300 m 以上水层, 夜晚则上浮到表层进行索饵, 鳶乌贼从表层到 150 m 水深均有捕获, 其中主要集中于 50~100 m 的水层^[22]。故文章选取 SST、 ΔT_{5-50} 、 ΔT_{5-100} 、 ΔT_{50-100} 、纬度、经度、 T_{50} 、 T_{100} 和月份为研究对象进行灰色关联度分析是合适的。结果显示, 灯光罩网鳶乌贼产量大小受到众多因素的影响, 其中 ΔT_{5-50} 是影响鳶乌贼产量最显著的因子, 关联度为 0.84, 纬度、 ΔT_{5-100} 、SST 和经度影响次之, 而 ΔT_{50-100} 和月份的影响程度为最低, 其关联度分别为 0.76 和 0.75。上述结果表明, 在 SST 及其水温垂直结构中, 对鳶乌贼资源分布及其作业渔场影响最大的是 5~50 m 水温垂直梯度、SST 以及 5~100 m 水温垂直梯度。

通过对春季和秋季两个航次的各站点水温垂直结构分析, 表明不同季节作业渔场水温垂直结构差异明显。从影响最显著因子 5~50 m 水温垂直梯度来看, 春季鳶乌贼平均网产分布比较集中, 春季鳶乌贼从深海越冬场向几十米浅海内进行生殖洄游^[16], 0.00~0.05℃/m 组距内平均网产较高, 且随着水温垂直梯度的增加而减少; 而秋季黑潮盛行, 高的 ΔT_{5-50} 可以带动底层的饵料, 其平均网产随水温垂直梯度的增加而增加, 并于 0.15~0.20℃/m 组距内达到最高。

该研究结果对灯光罩网作业具有一定的指导

作用, 但由于中国对南海外海海域灯光罩网的渔场资源还处于调查和开发的初级阶段, 积累的生产资料较少, 尚难以全面掌握灯光罩网渔船鳶乌贼产量与 SST 和水温垂直结构的关系, 因此, 还需要更多的调查资料积累, 如继续开展夏季和冬季调查, 以丰富鳶乌贼的生物学数据、饵料生物及海洋环境变化等资料, 以便得出更为可靠和科学的结论。

参考文献:

- [1] Zhang P, Yang L, Zhang X F, et al. The present status and prospect on exploitation of tuna and squid fishery resources in South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2010, 6(1): 68-74. [张鹏, 杨齐, 张旭丰, 等. 南海金枪鱼和鳶乌贼资源开发现状及前景[J]. 南方水产科学, 2010, 6(1): 68-73.]
- [2] Tian S Q, Chen X J, Yang X M, et al. Study on the fishing ground distribution of *Symlectoteuthis oualaniensis* and its relationship with the environmental factors in the high sea of the Northern Arabian Sea[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2006(1): 51-57. [田思泉, 陈新军, 杨晓明. 阿拉伯北部公海海域鳶乌贼渔场分布及其与海洋环境因子关系[J]. 海洋湖沼通报, 2006(1): 51-57.]
- [3] Chen X J, Liu B L, Tian S Q, et al. Fishery biology of purpleback squid, *Sthenoteuthis oualaniensis*, in the northwest Indian Ocean[J]. Fish Res, 2007, 83(1): 98-104.
- [4] Snyder R. Aspects of the biology of the giant form of *Sthenoteuthis oualaniensis* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Arabian Sea[J]. Journal of Molluscan Studies, 1998, 64(1): 21-34.
- [5] Lin D M, Chen X J. Fishing ground distribution of *Symplectoteuthis oulaniensis* and its relations to SST in the northwestern Indian Ocean[J]. Advances in Marine Science, 2006, 24(4): 546-550. [林东明, 陈新军. 印度洋西北部海域鳶乌贼渔场分布及其与海面温度的关系[J]. 海洋科学进展, 2006, 24(4): 546-550.]
- [6] Liu J L, Chen X J, Xu Q H. Population genetic structure of *Sthenoteuthis oualaniensis* in the northwestern Indian Ocean by RAPD analysis[J]. South China Fisheries Science, 2008, 4(2): 43-49. [刘金立, 陈新军, 许强华. 印度洋西北部海域鳶乌贼种群遗传结构的 RAPD 分析[J]. 南方水产, 2008, 4(2): 43-49.]
- [7] Chen X J, Ye X C. Preliminary study on the relationship between fishing ground of *Symlectoteuthis oualaniensis* and environmental factors in northwestern Indian Ocean[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(1): 55-60. [陈新军, 叶旭昌. 印度洋西北部海域鳶乌贼渔场与海洋

- 环境因子关系的初步分析[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(1): 55-60.]
- [8] Chen X J, Qian W G. Study on the resource density distribution of *Symlectoteuthis oualaniensis* in the northwestern Indian Ocean[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2004, 13(3): 218-223. [陈新军, 钱卫国. 印度洋西北部海域鳶乌贼资源密度分布的初步分析[J]. 上海水产大学学报, 2004, 13(3): 218-223.]
- [9] Yang L, Lu H S, Wu Z, et al. Fishing Gears and Fishing Methods of South China Sea[M]. Guangzhou: Guangdong Science Press, 2002: 164-167. [杨吝, 卢伙胜, 吴壮, 等. 南海区海洋渔具渔法[M]. 广州: 广东科技出版社, 2002: 164-167.]
- [10] Yang L, Zhang X F, Zhang P, et al. Small Fishing Gears and Fishing Methods of South China Sea[M]. Guangzhou: Guangdong Science Press, 2007: 63-67. [杨吝, 张旭丰, 张鹏, 等. 南海区海洋小型渔具渔法[M]. 广州: 广东科技出版社, 2007: 63-77.]
- [11] Yang L, Zhang X F, Tan Y G, et al. The catch composition of light falling-net fishing and its impact on fishery resources in the northern South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2009, 5(4): 41-46. [杨吝, 张旭丰, 谭永光, 等. 南海北部灯光罩网渔获组成及其对渔业资源的影响[J]. 南方水产科学, 2009, 5(4): 41-46.]
- [12] Zhang P, Zeng X G, Yang L, et al. Analyses on fishing ground and catch composition of large-scale light falling-net fisheries in South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2013, 9(3): 36-44. [张鹏, 曾晓光, 杨吝, 等. 南海区大型灯光罩网渔场渔期和渔获组成分析[J]. 南方水产科学, 2013, 9(3): 36-44.]
- [13] Yan L, Zhang P, Yang L, et al. Catch composition of light falling-net fishery in the central and southern South China Sea in spring of 2011[J]. South China Fisheries Science, 2014, 10(3): 97-103. [晏磊, 张鹏, 杨吝, 等. 2011年春季南海中南部海域灯光罩网渔业渔获组成的初步分析[J]. 南方水产科学, 2014, 10(3): 97-103.]
- [14] Yan Y R, Feng B, Lu H S. Comparative analysis on fishing capability of two light attracting commercial fishing methods around Zhongsha and Xisha Islands sea areas, the South China Sea[J]. South China Fisheries Science, 2009, 5(6): 59-64. [颜云榕, 冯波, 卢伙胜. 中、西沙海域2种灯光作业渔船的及其技术效率分析[J]. 南方水产科学, 2009, 5(6): 59-64.]
- [15] Yan L, Zhang P, Yang L, et al. A study of sinking characteristics of light falling-net fishing in the South China Sea[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(1): 146-153. [晏磊, 张鹏, 杨吝, 等. 南海灯光罩网沉降性能研究[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(1): 146-153.]
- [16] Yan Y R, Feng B, Lu H S, et al. Fishery biology of purpleback flying squid *Sthenoteuthis oualaniensis* in northern sea areas around nansha islands in summer[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2012, 32(6): 1177-1185. [颜云榕, 冯波, 卢伙胜, 等. 南沙群岛北部海域鳶乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)夏季渔业生物学研究[J]. 海洋与湖沼, 2012, 32(6): 1177-1185.]
- [17] Chen X J. The Fishery Resources and Fishing Grounds[M]. Beijing: Ocean Press, 2004: 1-162. [陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 1-162.]
- [18] Mou Z B, Liu Y, Xu G F, et al. The optimum temperature for growth and feeding in *Brachymystax lenok*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2011, 24(4): 6-8. [牟振波, 刘洋, 徐革锋, 等. 细鳞鱼摄食和生长最适水温的研究[J]. 水产学杂志, 2011, 24(4): 6-8.]
- [19] Chen X J. The Application of Grey System Theory in Fisheries Science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 28-31. [陈新军. 灰色系统理论在渔业科学中的应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 28-31.]
- [20] Chen X J, Xu L X. Analysis of relationship between fishing ground of *Ommastrephes bartrami* and surface water temperature and its vertical distribution from 150°E to 165°E in the Northwestern Pacific[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2004, 2: 36-43. [陈新军, 许柳雄. 北太平洋150°-165°E海域柔鱼渔场与表温及水温垂直结构的关系[J]. 海洋湖沼通报, 2004(2): 36-43.]
- [21] Chen X J, Zhao X H. Preliminary study on the catch distribution of *Dosidicus gigas* and its relationship with sea surface temperature in the offshore waters of Peru[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2006, 15(1): 65-70. [陈新军, 赵小虎. 秘鲁外海茎柔鱼产量分布及其与表温关系的初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(1): 65-70.]
- [22] Fan J T, Feng X, Qiu Y S, et al. Review on the biology of purpleback flying squid in South China Sea[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 23: 122-128. [范江涛, 冯雪, 邱永松, 等. 南海鳶乌贼生物学研究进展[J]. 广东农业科学, 2013, 23: 122-128.]

Relationship between the catch of *Symplectoteuthis oualaniensis* and surface temperature and the vertical temperature structure in the South China Sea

YAN Lei¹, ZHANG Peng¹, YANG Bingzhong¹, CHEN Sen¹, Li Ya'nan², LI Yuan³, SONG Puqing³, LIN Longshan³

1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy Fishery Sciences; Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China;
2. Testing Center of Marine Environment, South China Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;
3. Laboratory of Marine Biology and Ecology, Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China

Abstract: The purpleback squid (*Symplectoteuthis oualaniensis*) is widely distributed in the South China Sea and northwestern Indian Ocean, with significant diurnal vertical movement. Therefore, it is very important to study the relationship between the catch of *S. oualaniensis*, the surface temperature and the vertical temperature structure. Based on catch data from a light-falling net fishing vessel and temperature data in the South China Sea from September to October 2012 and March to April 2013, the relationships among the catch per net of *S. oualaniensis*, surface temperature and vertical temperature structure were studied. The degree of gray incidence was used to confirm the greatest factors affecting the catch of *S. oualaniensis*. The results indicated that spring was the best fishing period for *S. oualaniensis*; the total catch and the catch per net were obviously higher than that in autumn. Thus there was obvious seasonal variation in the fishing grounds of *S. oualaniensis*. The catch was mainly concentrated in the waters near 10°–15°N, 111°–117°E in spring, and in the waters near 13°–15°N, 117°–118°E in autumn. The suitable sea surface temperature (SST) in the fishing grounds was 25.6–29.6°C in spring and 27.6–30.0°C in autumn; however, the optimum SST of *S. oualaniensis* was the same at 28.5–29.5°C in spring and autumn. The temperature gradient in the fishing grounds was different between spring and autumn when choosing the S15 and S22 sites as representative sites. A thermocline both in spring and autumn was formed in the water layer at 50–100 m, and the thermocline intensity in spring was higher than in autumn. The catch per net of *S. oualaniensis* decreased with the increase in the temperature gradient from 5 m to 50 m in spring, and the catch per net in the class interval of 0.00–0.05°C/m was higher than the others. By contrast, the catch per net of *S. oualaniensis* increased with the increase in the temperature gradient from 5 m to 50 m in autumn, and the catch per net in the class interval of 0.15–0.20 °C/m was higher than the others. The degree of gray incidence (0.84) indicated that the temperature gradient from 5 m to 50 m was the greatest factor affecting the catch of *S. oualaniensis*, followed by the latitude, temperature gradient from 5 m to 100 m, SST and longitude.

Key words: light-falling net fishery; *Symplectoteuthis oualaniensis*; sea surface temperature; vertical temperature structure; South China Sea

Corresponding author: LIN Longshan. E-mail: linlongshan@tio.org.cn