

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17216

东海区小黄鱼海底水温分布特征及分析方法比较

刘勇, 程家骅

农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 上海 200090

摘要: 水温是影响鱼类活动的重要因素, 鱼类繁殖、生长、发育等阶段都对水温有着不同需求。本研究基于 2014—2015 年 4 个季节的大面积调查数据, 结合 R 语言绘图技术, 采用频率和生物量两种确定温度分布范围的方法, 对小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)的水温分布特征进行了分析和比较。研究结果发现: 依据频率和生物量分别确定的温度分布范围差别较大; 前者覆盖站位比例相对较高, 后者覆盖站位累积生物量比例较高; 后者在确保生物量累积比例的前提下, 某些季节也能有较高的站位覆盖比例, 如夏季和秋季; 基于生物量确定的温度范围可以更好地反映目标对象的分布特征。与历史研究结果比较, 本文的水温分布范围基本保持一致, 推断小黄鱼水温分布范围相对稳定, 本文研究结果可以反映小黄鱼的一般特征。研究过程中发现小黄鱼有两个群体, 水温和空间分布有明显差异; 一个群体分布偏北, 分布最南水域不超过舟山渔场水域; 另一个群体分布偏南, 一般分布水域处于长江口渔场以南海域。群体分布环境特征的分离可以作为种群划分的一个依据, 本文观察结果可以作为小黄鱼种群划分的一个侧面依据。研究还发现, 春、冬冷季小黄鱼资源聚集程度高, 而夏、秋暖季资源分布相对分散; 冷季群体单一, 主要是越冬索饵群体; 而暖季群体复杂, 包括产卵亲体、补充群体等; 暖季出现多个高生物量水温范围, 可能与不同群体不同的温度取向相关。

关键词: 东海; 小黄鱼; 水温分布; 方法比较

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)02-0423-13

水温是影响鱼类活动的主要因素, 如鱼类的繁殖、生长、发育等阶段都对水温有着不同的需求, 从而导致鱼类不同生活阶段对水温的不同取向^[1]。自然海水温度不仅受太阳辐射的影响, 还受不同洋流和水团的影响, 特定季节在空间上呈现不同水温带、或不同温度水团的分布特征, 进而导致鱼类不同时期在空间上的不同分布特点^[2]。

海洋渔业生物与海水温度之间关系的研究开展得很广泛。一方面是侧重于行业基础应用方面的研究, 主要包括渔场、渔汛与水温之间的关系, 此类研究有很强的实用性, 即可以为渔船捕捞开发和寻找高产渔场提供帮助; 如柔鱼渔场与水温因子之间的关系^[3-4], 渔汛暴发早晚与表层水温之间的关系^[5]等。一方面是关注于渔业生物或渔

业行为规律方面的研究, 此类研究同样可以对渔业生产提供帮助, 但主要目的是从科学角度分析规律、探索形成机理; 如鱼类不同生活时期对水温的偏好^[6], 不同时间周期水温变化对海洋鱼类活动的影响^[2], 渔获量与海表温度的关系^[7]等。

目前对鱼类水温分布范围的分析方法主要是出现温度的简单描述^[8-10], 即调查出现温度的最低和最高值范围。该方法掩盖了鱼类对水温偏好的描述, 即不知道鱼类在这段温度范围内的哪一小段的出现量更高一些。为避免上述缺点, 出现了适宜温度范围或者优势范围的描述^[11], 目前优势范围计算方法依据的主要是出现频率, 很少有考虑生物量的大小。本研究以小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)为例, 结合 R 语言绘图技术描绘鱼种与

收稿日期: 2017-06-13; 修订日期: 2017-07-30.

基金项目: 农业公益性行业科研专项(201303047); 农业部专项东海区海洋捕捞基础信息动态采集分析(2011-2017); 农业部专项中日暂定水域渔业资源调查(2011-2017); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2009M01).

作者简介: 刘勇(1977-), 男, 副研究员, 博士, 从事海洋渔业资源与生态学研究. E-mail: liuy@ecsf.ca.cn

水温之间的联系,直观分析水温范围的有效性,同时采用频率和生物量两种方法确定鱼类水温分布优势范围,并比较了两者优先缺点,为以后其他物种类似分布范围研究提供一种有效方法;另外,本文还从空间上分析了小黄鱼分布与水温之间的关系,为小黄鱼种群的划分提供了一定依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

数据来自 2014 年 5 月(春季)、8 月(夏季)、11 月(秋季)和 2015 年 1 月(冬季)东海区渔业资源四次大面积定点调查。调查船为双拖渔轮,网具为 100 目×4 m,网囊网目为 2.5 cm,平均拖速为 2 n mile/h。调查范围为 27°00′~34°00′N, 122°00′~127°00′E(图 1),经纬度每隔 30′设 1 个站位,格状均匀设置站位。每个站点在收好渔网后,放下 CTD 至海底,作短暂停顿后再提收,收集各站点的水温、盐度和深度等水文数据。考虑到调查渔船为底层双拖渔轮,捕捞对象均为海水底层生物,影响其分布的环境因素应该为底层的水文条件,所以本研究的水温为底层水温。

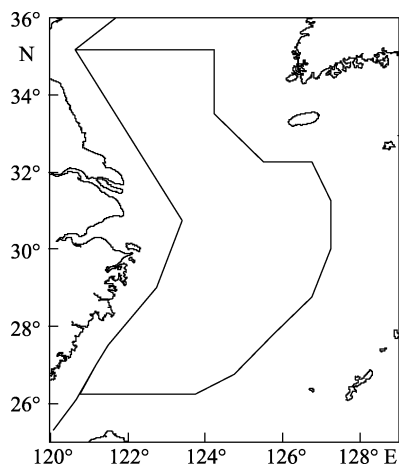


图 1 研究水域范围示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the study area

1.2 方法

1.2.1 主体资源分析方法 出于分析小黄鱼主体资源水温环境分布特征的目的,本文对出现小黄鱼调查站点的资源密度指数(kg/h)由高到低进行排序,选出排序靠前、累积值占总和 90%的所有调查站点数据进行分析。

1.2.2 水温混合分布分解方法 分析小黄鱼主要群体水温分布特征时,发现每个季节的小黄鱼主要群体水温分布均出现两个明显不同的水温分布高峰,为了分析不同水温分布高峰的主要参数,即分布的中心水温、水温范围、群体数量所占比例等内容,本文采用了混合密度分解的方法^[12]。该方法假设某个混合分布是由几个单分布按一定比例组合而成,用数学语言表达为混合概率密度函数 g 为 k 个成分密度的加权之和:

$$g(x|\pi, \mu, \sigma) = \pi_1 f(x|\mu_1, \sigma_1) + \dots + \pi_k f(x|\mu_k, \sigma_k)$$

成分密度可以是正态、对数、伽马、指数、威布尔等形式分布的密度。其中参数包括各成分的混合比例、平均值和标准差。本文分析采用的是正态分布密度。具体计算过程是利用 R 语言中的 `mixdist` 函数包^[13]中的 `mix` 函数来实现的。

1.2.3 等值面的插值方法 本文采用了普通克里格(Ordinary Kriging, OK)插值方法,该方法建立在半变异函数理论分析基础上,是对有限区域内变量进行无偏最优估计的一种插值方法^[14]。有研究指出,该方法在局部趋势模拟方面表现较好^[15]。普通克里格插值方法是利用 R 统计软件^[16]geoR 工具包^[17]来实现的。

1.3 软件

本文所有数据的处理和图件的绘制均是使用 R 语言软件来实现^[16]。处理和整理数据使用的主要函数包有 `RODBC`^[18]、`XLConnect`^[19]、绘画使用的主要函数包有 `mapdata`^[20]、`maps`^[21]、`ggplot2`^[22]。

2 结果与分析

2.1 小黄鱼资源密度及海底水温空间分布特征

如图 2 所示,夏季小黄鱼出现的站位最多、资源密度最高;春季和冬季出现的站位数及资源密度相当,出现站位数相对较少,但资源密度仅次于最高的夏季;而秋季的资源密度指数相对最低,但其出现的站位与夏季相当。

海底水温分布四季特点分明。夏季,17℃以上的海底温水水团往北侵袭的范围最深、超过北纬 34°,并且在浙江近海出现 25~27℃的相对高温水团;夏季相对高温水团在东海区范围占据绝对优势。秋季,相对高温水团也占绝对优势,但其势力

范围相比夏季有明显回缩, 17℃以上温水团已经退缩到 34°以南。春季和冬季, 东海区的大部分海底水域均被 17℃以下的水团所占据, 冬季 9℃以下的近海冷水团势力较强, 相比春季把相对低温的水团推得更往南。

小黄鱼空间分布与海底水温分布的相互关系。春季, 小黄鱼在长江口外海水域有较多分布, 另外在江苏北部近海和浙江近海有少量分布; 多数小黄鱼分布在 17℃以下底温水域。冬季, 小黄鱼的分布特点与春季相似, 但是分布在长江口外海的群体相比春季更靠外, 江苏近海群体受冷水

团影响也分布得更靠外海, 浙江近海群体数量相比春季更多, 同样绝大多数小黄鱼分布在 17℃以下底温水域。秋季, 小黄鱼的分布特点与春、冬季相似, 即主要分布在长江口外海、江苏北部近海和浙江近海三块水域, 且三块水域分布的数量相当; 与春、冬季相反, 多数小黄鱼分布在 17℃以上底温水域。夏季, 小黄鱼分布特点区别于其他季节, 由江苏中部至浙江中部沿岸近海均有较多分布, 数量相对更集中的水域出现在长江口水域, 由近海至外海均有大量分布; 与秋季相似, 多数小黄鱼分布在 17℃以上底温水域。

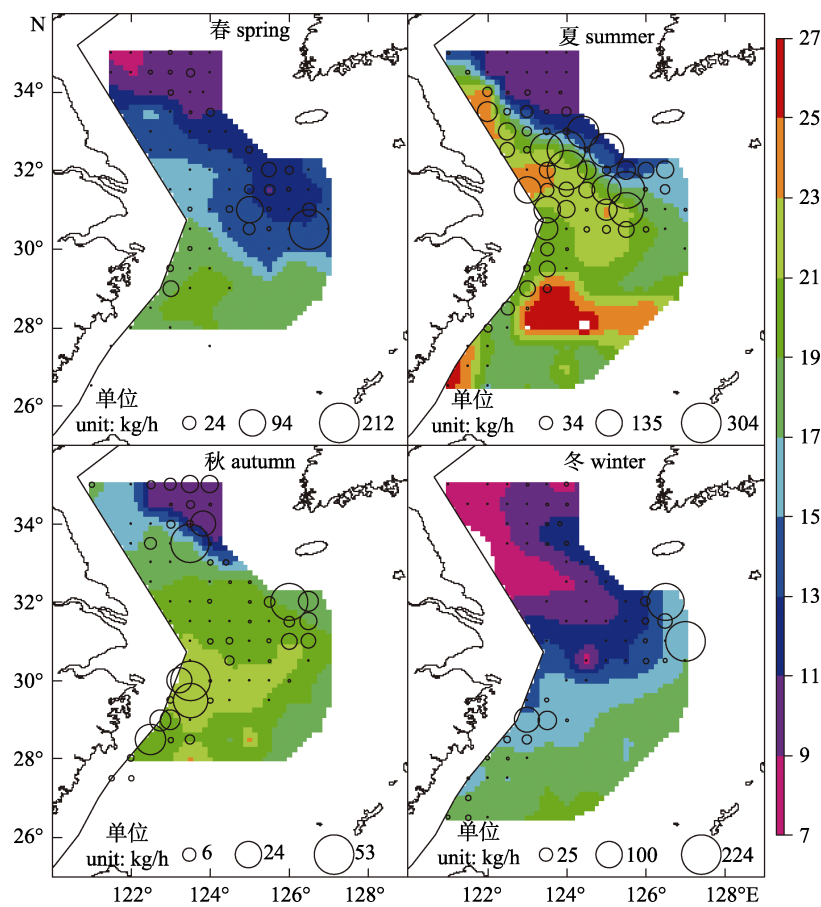


图 2 小黄鱼资源密度与海底水温四季分布情况

Fig. 2 Distribution of resource density and bottom water temperature in four seasons of small yellow croaker

2.2 小黄鱼资源密度排序与底温分布范围对应关系

观察小黄鱼资源密度四季排序累积百分比结果可以看到, 冬季小黄鱼空间分布相对最为集中, 资源密度排序前 10 个站点的积累值就已经达到所有调查点之和的 90%之上, 其次为春季的 15 个

站点, 然后是秋季的 20 个站点和夏季的 28 个站点。小黄鱼调查出现的站点数量可以反映分布范围的大小, 可以看到夏季小黄鱼的分布范围最广, 出现的站点达到 81 个; 而分布范围最小的则为冬季, 出现的站点最少, 为 67 个; 春季和秋季的分布范围相当, 出现站点数分别为 74 和 75 个。

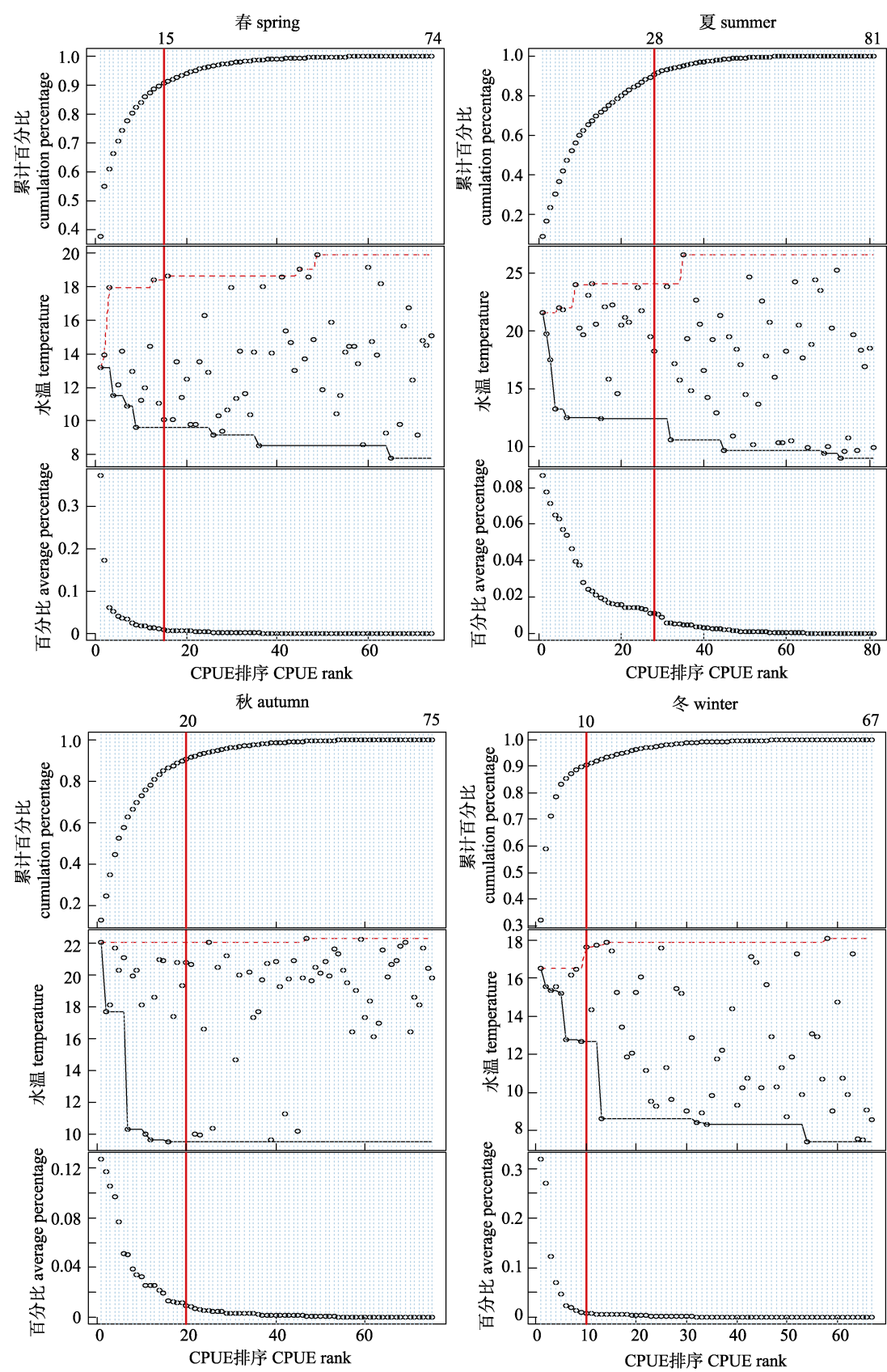


图 3 小黄鱼主要群体水温分布数据筛选

Fig. 3 Screening of water temperature distribution data for main small yellow croaker

资源密度累积 90%的底温分布范围最为集中的季节出现在冬季, 温度范围为 12.69~17.65℃, 这一结果与前述小黄鱼冬季空间分布最为集中相对应; 而秋季的底温分布范围最广, 为 9.50~22.05℃, 这与前述秋季空间上中等集中度是不一致的, 仔细观察秋季的底温分布, 不仅是相对高资源密度站点, 还是所有小黄鱼出现的站点, 底温分布出现两个分隔明显的群体, 即一个是 16℃之上, 另一个是 12℃之下; 春季和夏季的分布范围居于其间, 分别为 9.63~18.42℃和 12.43~24.10℃, 前述夏季的集中度最低, 而其相对高资源密度的底温分布并不是最分散的, 可见夏季多数小黄鱼对底温有一定的选择。所有小黄鱼的底温分布范围, 上限底温最高的出现在夏季为 26.58℃; 最低的出现在冬季, 为 18.11℃; 然后春、秋季处于中间, 分别为 19.92℃和 22.28℃; 下限底温 4 个季节比较相近, 均在 7.40~9.50℃。

2.3 小黄鱼主要群体分布水温的分布特征

2.3.1 主要群体高频率水温分布范围 排序资源密度累积达到 90%的调查站点海底水温四季分布情况如图 4 所示。观察结果可以看到, 各个季节小黄鱼主要资源的底温分布出现两个能明显区分的范围, 从另一个角度来看, 小黄鱼的主要资源分成了两个群体, 其分布底温有比较明显的差别。假设小黄鱼的底温分布符合正态分布, 通过混合分布分解的方法把各个季节的小黄鱼按底温分布情况分成了两个群体, 并且计算出各个群体的平均分布水温(μ)、分布水温的变异(σ)和两个群体数量的比例(π), 具体数据结果见表 1。

以群体比例(π)为权数, 加权平均计算出小黄鱼四季的平均分布温度分别为 12.4、19.2、17.4 和 14.9。可见小黄鱼分布的最低温度不是出现在冬季, 而是春季, 最高温度是在夏季, 其次在秋季, 冬季的底温介于秋季和春季之间。分布不同底温群体的比例, 除了春季是低温比例高、高温比例低之外, 其他季节的情况正好相反。4 个季节大群体与小群体的数量比例比较一致, 均在 8 : 2 的比例附近。

根据表 1 中计算出的平均温度(μ)和变异值(σ), 通过公式 $\mu \pm \sigma$ 计算出各季节两个划分群体

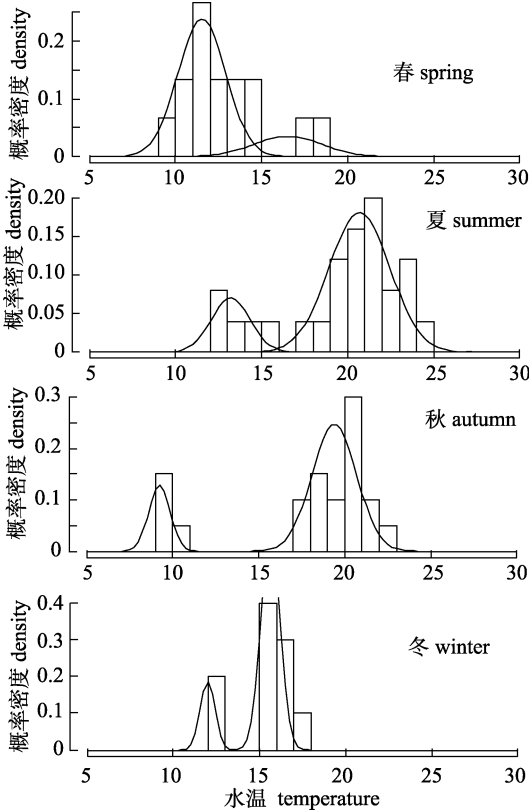


图 4 小黄鱼主要群体水温分布特点及分群结果
Fig. 4 The water temperature distribution characteristics and the clustering results of main small yellow croaker group

表 1 小黄鱼两个划分群体的各季参数
Tab. 1 Parameters of each season for the two divided groups of small yellow croaker

季节 season	组群 group	群体比例 π	平均分布水温 μ	变异值 σ
春 spring	1	0.83	11.5238	1.3839
	2	0.17	16.5281	1.9849
夏 summer	1	0.20	13.1939	1.1263
	2	0.80	20.6857	1.7658
秋 autumn	1	0.20	9.2274	0.6161
	2	0.80	19.3859	1.2945
冬 winter	1	0.20	11.9845	0.4313
	2	0.80	15.6347	0.5627

的温度分布范围, 然后描绘出上述温度范围水域, 观察小黄鱼资源分布与水温之间的关系。结果如图 5 所示, 由于秋季第 1 群的下限温度超出所调查底温的最低值, 因而取了调查中出现的低值作为其下限。观察可以发现, 根据主体资源水温频率分布确定的主要水温范围并不能覆盖所有高资源密度水域, 在春季和秋季这一现象尤为明显; 春季和冬季低温范围所覆盖水域并没有出现相对

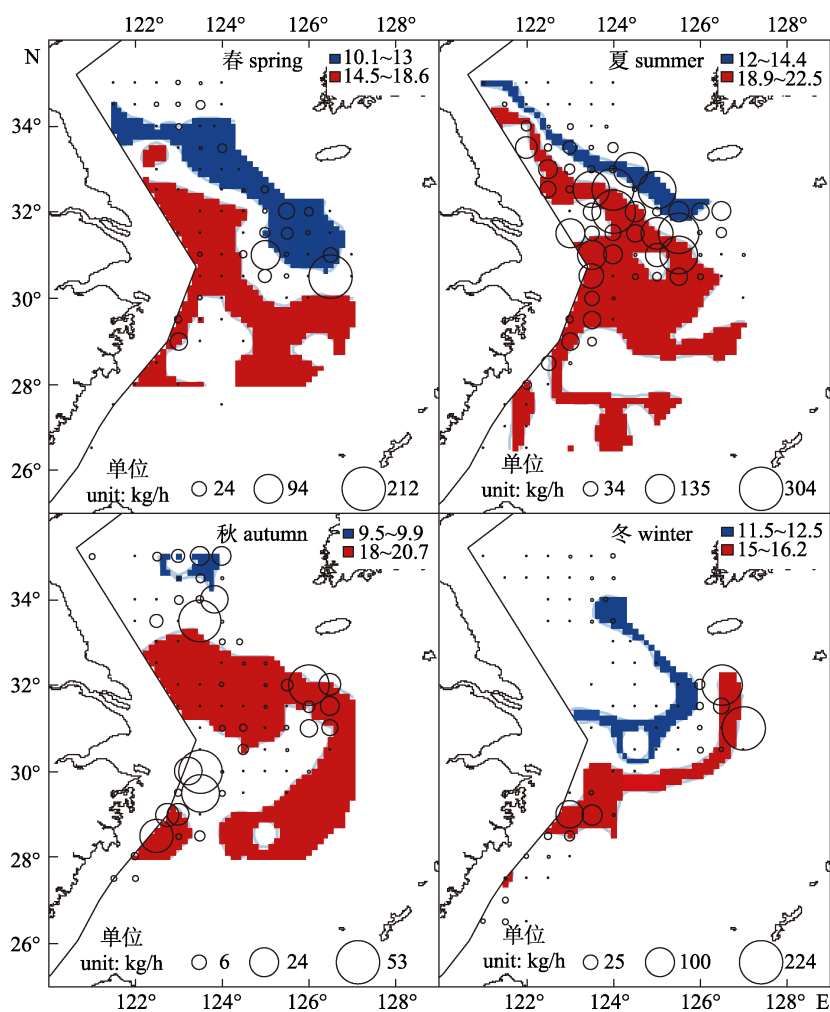


图 5 小黄鱼主要群体高频率分布水温与资源密度分布的空间关系

Fig. 5 The spatial relationship between the water temperature and the density in the area of high frequency distribution for small yellow croaker

较高资源密度站点。可见根据分布频率来确定的主体分布水温范围并不能很好地代表主体资源的分布特征。

2.3.2 高资源密度水温分布范围 根据前述研究结果,频率高的水温范围并不一定与高资源密度相对应,因此在频率分布研究的基础上加入了资源密度指数的参照,目标是寻找能指示资源高密度的水温分布范围。

从聚集度的角度来观察,出现聚集度相对较高的季节是偏冷的冬季和春季,而聚集度相对较低的季节是偏暖的夏季和秋季。冷季中的冬季和春季均出现一个资源密度指数值占有所有调查点之和的比例超出 20%的聚集度相当高的站点;春季调查共有 70 个站点出现小黄鱼,而其中 8 个站点

的资源密度指数累积值就超出了整体值的 80%;冬季的聚集度更高,仅 5 个站点的累积值就超出整体的 80%。而暖季中的聚集度则没有冷季那么高,夏、秋季的调查站点中小黄鱼资源密度指数最高的也达不到 20%,其中夏季最高的甚至达不到 10%;累积资源密度指数值达到整体 80%所需站点的数量,夏季最多为 20 个站点,而秋季需要 13 个站点。由上述分析可以判断,四个季节的聚集度排序如下:冬>春>秋>夏。该结果与 2.2 节中资源密度四季排序结果一致。

以资源密度指数累积值达到 40%出现的水温点作为基本点,观察延续至累积达 80%时的连续水温范围作为主要群体分布水温范围(这里把相连出现水温的差值小于 1℃的温度之间的范围作

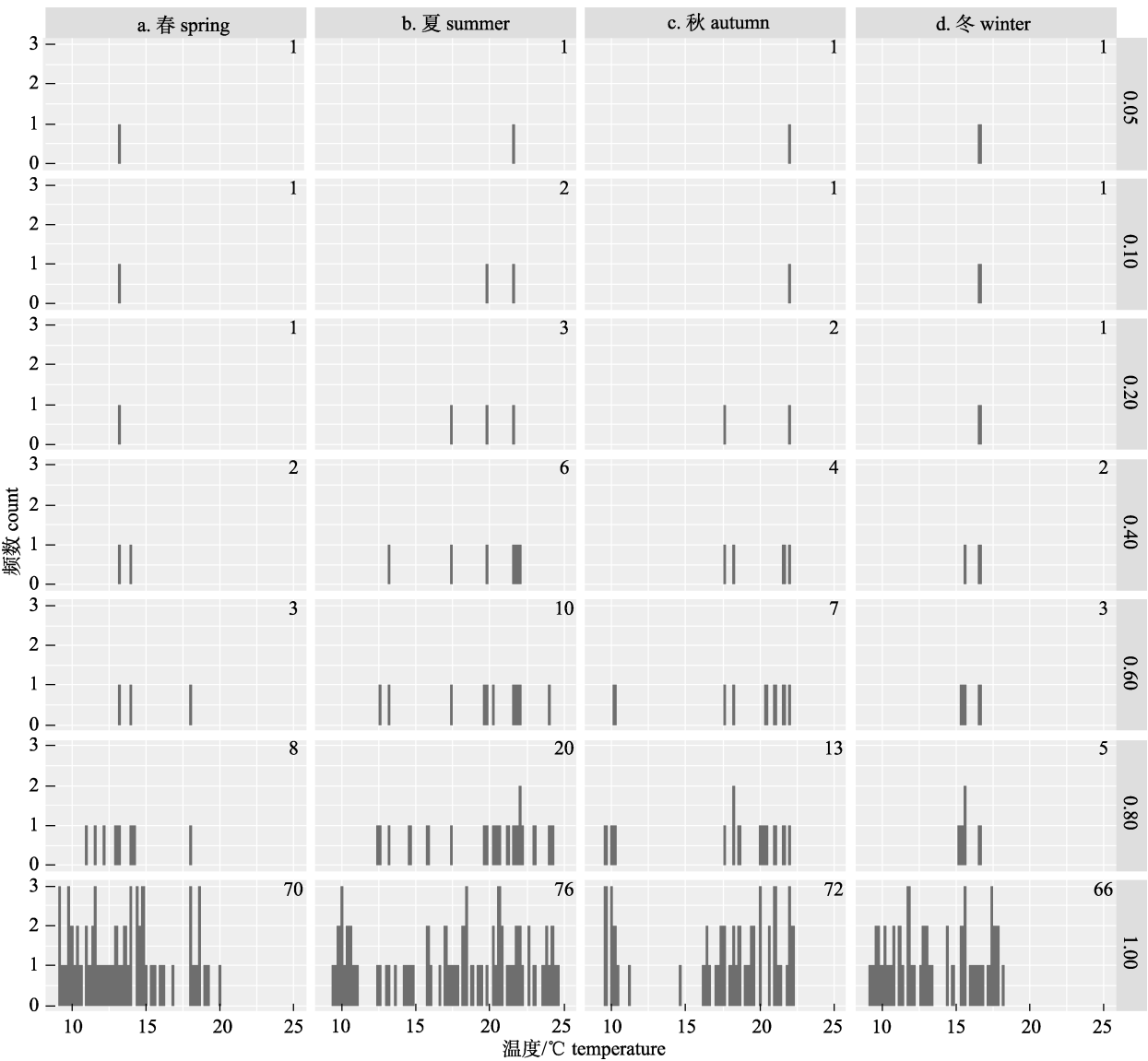


图 6 小黄鱼水温频率分布与资源密度的关系

Fig. 6 Relationship between water temperature frequency distribution and resource density for small yellow croaker

表 2 小黄鱼主体资源水温分布范围及统计参数(80%)

Tab. 2 Small yellow croaker major water temperature distribution range and statistical parameters (80%)

季节 season	温度范围/°C temperature range	计数 count	%
春 spring	10.92~14.15	7	0.74
	12.43~13.26	3	0.14
夏 summer	19.73~24.10	13	0.50
	9.63~10.27	3	0.10
秋 autumn	18.11~18.57	3	0.16
	20.27~22.05	5	0.39
冬 winter	15.21~16.55	5	0.83

为连续分布水温范围,若差值出现超出 1℃的情况就中断该范围,按照上述规则继续寻找下一个

温度范围),这样得到的主体分布水温范围及所覆盖的资源密度指数所占比例如表 2 所示。

为了把出现点包括在温度范围内,对表 2 中的实际温度范围上下各扩展了 0.1℃。另外,根据 2.3.1 节叙述的水温范围研究规则,即以 40%出现的水温点为基点;而夏季中在寻找连续范围过程中,由于其中一个温度点没有出现相邻的水温,未形成连续的温度范围,以此温度点作为中心向上下各扩展了 0.1℃,获得一个新的温度范围。更新后的温度范围如表 3 所示。

根据表 3 所列温度范围,获得小黄鱼主体资源水温分布图(图 7)。

表 3 更新后小黄鱼主体资源水温分布
范围及统计参数(80%)

Tab. 3 Update of small yellow croaker major water temperature distribution range and statistical parameters (80%)

季节 season	温度范围/℃ temperature range	计数 count	%
春 spring	10.82~14.25	7	0.74
	12.33~13.36	3	0.14
夏 summer	17.38~17.58	1	0.07
	19.63~24.20	13	0.50
秋 autumn	9.53~10.37	3	0.10
	18.01~18.67	3	0.16
	20.17~22.15	5	0.39
冬 winter	15.11~16.65	5	0.83

3 讨论

3.1 小黄鱼海底水温分布两种分析方法的比较

本文通过两种方法分析了小黄鱼的水温分布范围,即依据出现频率和资源密度两个因素来确定分布范围,两者的结果差别较大(表 4)。前者不区分资源密度的高低,仅关注出现次数获得的水温范围,其水温覆盖的站位比例相对高一些,如

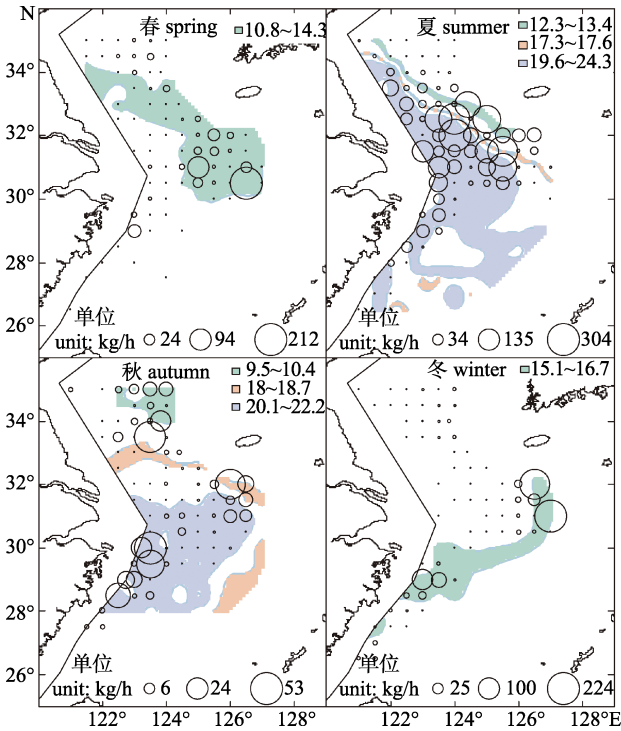


图 7 小黄鱼高资源密度水温分布情况
Fig. 7 Temperature distribution of high density
of small yellow croaker

表 4 两种分析方法的相关统计结果
Tab. 4 Statistical results of the two analytical methods

模式 mode	季节 season	水温范围 temperature range	计数 count	站数百分比 station count	小计 sum	重量百分比 weight percentage	小计 sum
高频 top frequency	春 spring	10.1-13	20	0.27	0.51	0.23	0.32
		14.5-18.6	18	0.24		0.09	
	夏 summer	12-14.4	7	0.09	0.38	0.15	0.64
		18.9-22.5	24	0.30		0.49	
	秋 autumn	8.6*(9.5)-9.9	4	0.05	0.45	0.04	0.39
		18-20.7	30	0.40		0.35	
高资源量 top weight	冬 winter	11.5-12.5	6	0.09	0.27	0.01	0.56
		15-16.2	12	0.18		0.55	
	春 spring	10.8-14.3	29	0.39	0.39	0.83	0.83
		12.3-13.4	5	0.06		0.14	
	夏 summer	17.3-17.6	2	0.02	0.44	0.07	0.80
		19.6-24.3	29	0.36		0.58	
	秋 autumn	9.5-10.4	10	0.13	0.64	0.14	0.78
		18-18.7	7	0.09		0.16	
	冬 winter	20.1-22.2	31	0.41	0.21	0.48	0.88
		15.1-16.7	14	0.21		0.88	

注: * 表示 8.6 是由 $\sigma-\mu$ 得到, 但其值低于所测水温最低值, 因此把此值调为最低值 9.5.
Note: * means 8.6 is obtained by $\sigma-\mu$, but its value is lower than the lowest value of measured water temperature, so this value is adjusted to the lowest value of 9.5.

春季的 51%对比 39%, 冬季的 27%对比 21%; 但是由于本文研究选取了资源密度累积 90%以上的站位作为研究对象, 舍弃一些资源密度较低的站位, 从而导致夏季和秋季的站位覆盖率相对较低的结果。后者则是依据资源密度由高到低来确认的主要水温分布范围, 其特点是所覆盖的站位的累积资源密度所占比例较高, 4 个季节的资源密度比例均在 80%及以上, 明显高于前者; 而观察其站位覆盖比例也并不低, 可以看到其夏季和秋季所覆盖站位累积比例均高于前者。可见在夏季和秋季, 资源的频率分布范围与资源密度分布范围相互重合度较高, 即高频出现的水域也是高生物量出现的地方; 而春季和冬季两者分布的范围差别较大。综合上述讨论, 高频水温范围能够覆盖物种出现的多数水域, 但所覆盖范围并不一定能包括高资源密度水域; 而高密度水温范围则能保证涵盖资源密度较高的水域, 其所覆盖物种出现频率相比高频范围也不是很低, 且也有涵盖出现频率明显高于前者的现象。本研究的比较结果可以明显看出后者的优势, 因此建议以后在研究渔业资源水温分布范围时可以考虑采用高资源密度确定水温范围的方法。

3.2 本研究结果与历史之间的比较

与历史文献进行比较, 两种方法所得水温范围匹配程度不同。对于小黄鱼春季的水温分布情况, 两篇文章分别报道了 2003 年^[11]和 2007 年^[10]的调查情况。前者分析发现处于 V 期的繁殖个体的分布水温范围在 10~12℃, 这个水温范围在本研究的两种方法分析结果中都有包含; 高频分布水温的低温范围包含此范围、且范围相近, 高量分布水温范围只包括部分范围、且其范围偏高(表 4)。后者研究对象为小黄鱼产卵亲体, 其分布范围为 9.77~18.85℃, 该范围完全涵盖了高频分布的两个温度范围, 且其水温范围上下限温度相比本研究有小幅扩大; 本研究仅选取了资源密度累积 90%以上的站位作为研究对象, 若加入那些舍弃的站位所得结果可能与前者更接近; 虽然本研究与后者相隔 7 年, 得到的小黄鱼水温分布范围还是比较一致的, 可见小黄鱼的水温分布范围是相对稳定的。对于小黄鱼秋季的水温分布情况,

有研究报导小黄鱼索饵群体的分布水温范围在 10~25℃^[23], 历史上的研究与本研究得到的范围相比稍微偏高。而本研究的水温范围, 温度范围下限值与前述报道结果相近, 而上限值相比偏低, 温度低 2~3℃。仔细分析对比, 导致上述差别的主要原因可能是因为采样的时间上的差别。历史报道的调查月份均集中在 9 月下旬, 而本研究是在 8 月下旬, 前后相差 1 个月的时间, 这可能导致底层水温偏低的主要原因。综上所述本文研究得到的小黄鱼的水温分布范围与历史调查研究的结果基本一致, 从而推断小黄鱼的水温分布范围是相对稳定的, 本文的研究结果可以反映小黄鱼的一般特征。

3.3 小黄鱼水温分布特征为种群划分提供依据

本文在分析小黄鱼高频分布水温分布范围过程中发现, 4 个季节中均出现两个频率分布相对集中的群体。其中一个群体的个体出现频率相对较高, 另一个相对较低; 大小群体的数量比值相对平稳, 基本稳定在 4:1。观察两个群体的四季空间移动情况(图 4), 发现如下特征: 春季, 小群体主要集中在长江口周围, 而大群体则主要分布在长江口外海水域。而在夏季, 原先处在外海的大群体往长江口附近靠近, 并且在南北沿岸均有延伸, 另外长江口外海还有分布; 小群体则往北和外海转移, 紧贴大群体外侧。秋季, 小群体则有继续北上趋势, 大群体则逃离长江口周边, 有向外海和南部近海两个部分转移趋势。冬季, 大群体分布形势变化不大, 只是稍有向南移动; 而小群体则往南靠近, 就在大群的北内侧。对比高资源量分布情况(图 6), 春季高资源量分布区域主要对应上述大群体; 夏季最低的高资源量水温分布范围对应着小群体, 而另外两个范围则对应着大群体; 秋季与夏季类似, 即最低的范围是对应小群体, 另外两个范围对应大群体; 冬季唯一范围对应大群体。可以看到, 在夏季和秋季小群体还有一定资源量, 而在春季和冬季主要资源量均来自大群体。

除了春季大群体与小群体空间分布纬度范围较为接近外, 其余季节小群体空间分布相比大群体均处于偏北部水域; 另外, 只有春季的大群体

分布的水温较小群体偏低, 其余季节均相反; 上述现象是否指示, 春季的大小群体与其余四季的大小群体并不是相互匹配的, 很有可能春季的小群体是与其余季节的大群体相对应的, 而大群体则是与其余各季的小群体对应。春季底层水温相对其他季节往往是最底的, 是小黄鱼越冬洄游最冷的时期, 此时是小黄鱼洄游最靠南的时期。由此可以解释春季观察到的大小群体分布特征与其他季节的差异, 即春季长江口外海分布的大群体是由北部水域往南洄游的越冬群体, 而近岸的小群体则是另一个群体大多数个体已经往南洄游越冬剩下的小部分个体形成的, 这部分小群体应该隶属于偏南分布的群体。本研究发现两个小黄鱼群体的分布特点: 一个群体分布偏北, 分布最南水域也不超过舟山渔场水域; 另一个群体分布偏南, 一般分布水域处于长江口渔场以南海域。参考以往分析小黄鱼种群的相关文献, 有提出 3 个小黄鱼种群观点的, 即包括黄海北部-渤海种群、黄海南部种群和东海种群^[24-25]; 也有提出 4 个种群观点的, 即除了上述 3 个种又分出黄海中部种群^[26]; 还有人提出只有 2 个种群的观点, 即黄海南部和东海种群、渤海和黄海北部种群^[27-29]。从本研究结果来看, 受本研究调查范围所限, 只观察到 2 个种群; 参考上述文献, 本文观察到的两个种群可能对应黄海南部种群和东海种群, 这个结果与 3 个和 4 个种群的结论是不冲突的, 而与 2 个种群的观点有区别。本研究的目的是为了区分种群, 在研究过程中发现从底温的角度小黄鱼可以明显地分成两个种群; 群体分布的环境特征的分离也可以作为种群划分的一个依据, 本文的观察结果也可以给小黄鱼种群的划分提供一个侧面依据。

3.4 小黄鱼冷暖季聚集程度的差异

根据海水温度的冷暖可以把 4 个季节分成冷季和暖季, 冷季包括冬季和春季, 暖季包括夏季和秋季^[30]。本文研究结果发现, 春冬冷季资源聚集程度高, 大部分资源均分布在一个比较狭窄的温度范围内, 而夏秋季暖季资源分布相对分散, 高资源量的分布范围出现多个水平。春冬冷季出现的主要是越冬索饵群体, 由于它们的目的比较

一致, 均是寻找温度相对较高、食物相对丰富的水域, 因此分布区域相对集中; 而夏秋暖季出现的小黄鱼中可能是包括较晚的产卵群体、产过卵群体、当年新的补充群体等不同群体的混合^[31-32], 而这些群体可能对温度有不同取向, 从而导致多个高资源量分布水温范围的出现。从这个角度分析, 通过高资源量的水温分布范围分析, 可以把小黄鱼分离出不同的群体, 这些群体所处生理周期可能有差别, 也可能世代不一样, 到底是什么原因导致这些群体对水温的不同偏好, 这些疑问可能还需要进一步的详细研究才能找到答案。

3.5 强大捕捞压力对秋季调查结果的影响

根据全国海洋捕捞抽样调查的结果来看, 全年小黄鱼的最高产量出现在伏季休渔结束后的第一个月, 即 9 月¹。全年小黄鱼捕捞量主要来自伏休后的几个月, 也就是说主捕小黄鱼的季节是集中在伏休结束开捕后的 3~4 个月当中, 其他季节由于产量较低、不是主捕对象, 因而受捕捞的影响相对较小。本研究所采用数据除秋季(11 月)处于小黄鱼主捕期外, 其余调查所受捕捞影响相对较小。一般的情况是, 伏季休渔结束后所有渔船都会出海捕捞, 经过 3 个多月的资源养护、渔业资源得到明显的恢复, 这是全年生产相对较好的时段, 渔民当年能否赚钱可能全靠这几个月的生产。伏休后的几个月是渔业资源捕捞压力最大的几个月, 稍有恢复的渔业资源会有一个明显的下降过程^[33-34]。11 月的小黄鱼资源调查结果必然与渔业捕捞有联系, 调查结果显示 11 月的小黄鱼资源密度是 4 次调查中最低的(图 2), 这与开捕后强大的捕捞压力直接相关。不是所有渔船都是主捕小黄鱼, 还有许多捕捞其他鱼种的渔船, 渔船应该在全海域均有分布; 另外, 由于小黄鱼是经济鱼类, 即使不是主捕小黄鱼的渔船, 一旦发现小黄鱼资源一般也是优先捕捞; 因而, 可以假设渔船捕捞对整个海域的小黄鱼资源密度影响是相对均衡的。那么, 即使因为捕捞, 小黄鱼的资源密度会下降, 但其整体分布趋势不会发生变化, 所以

¹ 内部资料《中国海洋捕捞状况报告(2014 年)》。

推断 11 月的调查结果仍可以反映小黄鱼自然的整体分布特征。另外, 对比秋季(2014 年 11 月)和冬季(2015 年 1 月)的分布特征, 冬季分布特征与秋季有很强的延续性, 这从另一个角度证明了本研究的秋季调查结果能反映小黄鱼的自然分布特征。

参考文献:

- [1] Zhang J K, Su F Z, Du Y Y. Relationship between pelagic fishery resources and sea surface temperature in East China Sea[J]. Resources Science, 2004, 26(5): 147-152. [张甲坤, 苏奋振, 杜云艳. 东海区中上层鱼类资源与海表温度关系[J]. 资源科学, 2004, 26(5): 147-152.]
- [2] Li X D. Studies on the correlation between the temperature of sea water and fishing grounds[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1982, 4(1): 103-113. [李雪渡. 海水温度与渔场之间的关系[J]. 海洋学报, 1982, 4(1): 103-113.]
- [3] Chen X J. An approach to the relationship between the squid fishing ground and water temperature in the northwestern Pacific[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 1995, 4(3): 181-185. [陈新军. 西北太平洋柔鱼渔场与水温因子的关系[J]. 上海水产大学学报, 1995, 4(3): 181-185.]
- [4] Chen X J. An analysis on marine environment factors of fishing ground of *Ommastrephes Bartrami* in northwestern Pacific [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 1997, 6(4): 263-267. [陈新军. 关于西北太平洋的柔鱼渔场形成的海洋环境因子的分析[J]. 上海水产大学学报, 1997, 6(4): 263-267.]
- [5] Wei S, Zhou B B. Study on short-term fishery forecast of mackerel in China Yellow Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1988, 10(2): 216-221. [韦晟, 周彬彬. 黄渤海蓝点马鲛短期渔情预报的研究[J]. 海洋学报, 1988, 10(2): 216-221.]
- [6] Ferguson R G. The preferred temperature of fish and their midsummer distribution in temperate lakes and streams[J]. Journal of the Fisheries Board of Canada, 1958, 15(4): 607-624.
- [7] Du Y Y, Zhou C H, Shao Q Q, et al. Sea surface temperature and purse net productivity in East China Sea[J]. High-tech Communication, 2001, 11(2): 56-60. [杜云艳, 周成虎, 邵全琴, 等. 东海区海表温度与中上层渔获量关系的时空分析[J]. 高技术通讯, 2001, 11(2): 56-60.]
- [8] Lin L S, Cheng J H, Jiang Y Z, et al. Spatial distribution and environmental characteristics of the spawning grounds of small yellow croaker in the southern Yellow Sea and the East China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3485-3494. [林龙山, 程家骅, 姜亚洲, 等. 黄海南部和东海小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 产卵场分布及其环境特征[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3485-3494.]
- [9] Li J S, Ling J Z, Cheng J H. Distribution of *Nemopilema nomurai* and its relationship with bottom temperature and salinity in north East China Sea and south Yellow Sea in autumn[J]. Marine Fisheries, 2012, 34(4): 371-378. [李建生, 凌建忠, 程家骅. 秋季东海北部和黄海南部沙海蜇资源分布及其与底层温盐度的关系[J]. 海洋渔业, 2012, 34(4): 371-378.]
- [10] Lin L S, Jiang Y Z, Yan L P, et al. Study on the distribution characteristics and fecundity of spawning stock of *Larimichthys polyactis* in the southern Yellow Sea and the East China Sea[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2009, 18(4): 453-459. [林龙山, 姜亚洲, 严利平, 等. 黄海南部和东海小黄鱼产卵亲体分布特征与繁殖力的研究[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(4): 453-459.]
- [11] Liu Y, Yan L P, Cheng J H. Distribution of small yellow croaker's spawner stocks and its relationship with seawater temperature and salinity in the open sea of north East China Sea and south Yellow Sea in 2003[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(7): 89-96. [刘勇, 严利平, 程家骅. 2003年东海北部和黄海南部外海小黄鱼产卵群体的分布特征及其与水温、盐度的关系[J]. 中国水产科学, 2007, 14(7): 89-96.]
- [12] Du J. Combined algorithms for fitting finite mixture distributions[D]. Hamilton: McMaster University, 2004.
- [13] Green P P E J, Systems I D. User's Guide to Program MIX: an Interactive Program for Fitting Mixtures of Distributions[M]. Hamilton: Ichthus Data Systems, 1988.
- [14] Hou J R. Practical Geostatistics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. [侯景儒. 实用地质统计学[M]. 北京: 地质出版社, 1998.]
- [15] Zhang W, Li C H, Jia X P, et al. Research on spatial interpolation methods of Macrobenthic biomass[J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(3): 351-356. [张伟, 李纯厚, 贾晓平, 等. 底栖生物生物量空间插值方法研究[J]. 海洋通报, 2010, 29(3): 351-356.]
- [16] The R Core Team. R: A language and environment for statistical Computing[CP/OL]. <https://www.R-project.org/>.
- [17] Ribeiro P J, Diggle P J. geoR: A package for geostatistical analysis[J]. R-News, 2001, 1/2: 14-18.
- [18] Ripley B, Lapsley M. RODBC: ODBC database access [CP/OL]. <http://CRAN.R-project.org/package=RODBC>.
- [19] GmbH M S. XLConnect: Excel Connector for R[CP/OL]. <http://CRAN.R-project.org/package=XLConnect>.
- [20] Becker, Original S Code By Brownrigg., Allan R Wilks. R. mapdata: Extra Map Databases[CP/OL]. <http://CRAN.R-project.org/package=mapdata>.
- [21] Becker R A, Wilks A R, Brownrigg R. maps: Draw geo-

- graphical maps[CP/OL]. <http://CRAN.R-project.org/package=maps>.
- [22] Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis[M]. Springer Publishing Company, Incorporated, 2016.
- [23] Li J S, Lin L S, Cheng J H. Distribution characteristic of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis* Bleeker) and its relationship with bottom water temperature and salinity in the northern East China Sea in autumn[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(3): 348-356. [李建生, 林龙山, 程家骅. 东海北部秋季小黄鱼分布特征及其与底层温度和盐度的关系[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 348-356.]
- [24] Ministry of Agriculture, Fisheries and Fisheries, Fisheries Command, Donghai District, Ministry of Agriculture. Investigation and Zoning of Fishery Resources in the East China Sea[M]. Shanghai: East China Normal University Press, 1987. [农牧渔业部水产局, 农牧渔业部东海区渔业指挥部. 东海区渔业资源调查和区划[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1987.]
- [25] Zheng Y J, Chen X Z, Cheng J H, et al. Resources and Environment of the East China Sea Shelf[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2003. [郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003.]
- [26] Deng J Y, Zhao C Y. Marine Fisheries Biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991. [邓景耀, 赵传纲. 海洋渔业生物学[M]. 北京: 农业出版社, 1991.]
- [27] Xu Z L, Chen J J. Population division of *Larimichthys polyactis* in China Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(11): 2856-2864. [徐兆礼, 陈佳杰. 再议中国近海小黄鱼种群的划分问题[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2856-2864.]
- [28] Zhao C Y, Liu X S, Zeng B G. China's Marine Fishery Resources[M]. Beijing: Agricultural publishing house, 1991. [赵传纲, 刘效舜, 曾炳光. 中国海洋渔业资源[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990.]
- [29] Jin X S, Zhao X Y, Meng T X, et al. Biological Resources and Habitat Environment of Yellow and Bohai Sea[M]. Beijing: Science Press, 2005. [金显仕, 赵宪勇, 孟田湘, 等. 黄渤海生物资源与栖息环境[M]. 北京: 科学出版社, 2005.]
- [30] Karakassis I, Tsapakis M, Hatziyanni E. Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean[J]. Marine Ecology Progress Series, 1998, 162: 243-252.
- [31] Xu H X, Liu Z F, Zhou Y D. Variation of *Trichiurus shau-mela* productivity and recruitment in the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(4): 322-327. [徐汉祥, 刘子藩, 周永东. 东海带鱼生殖和补充特征的变动[J]. 水产学报, 2003, 27(4): 322-327.]
- [32] Liu Z L, Yuan X W, Yang L L, et al. Effect of stock abundance and environmental factors on the recruitment success of small yellow croaker in the East China Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(2): 588-600. [刘尊雷, 袁兴伟, 杨林林, 等. 亲体量和环境对东海小黄鱼补充成功率的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(2): 588-600.]
- [33] Lin Longshan, Cheng Jiahua, Ling Jianzhong. Analysis on recent status of the bottom trawl fishery resources in the East China Sea region[J]. Marine Fisheries, 2007, 29(4): 371-374. [林龙山, 程家骅, 凌建忠. 东海区底拖网渔业资源变动分析[J]. 海洋渔业, 2007, 29(4): 371-374.]
- [34] Lin L S, Cheng J H. Effects of the prolonged summer closed fishing period on fisheries in East China Sea[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(1): 12-16. [林龙山, 程家骅. 延长东海区伏季休渔期的渔业效果分析[J]. 大连海洋大学学报, 2009, 24(1): 12-16.]

Bottom-temperature distribution characteristics of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in the East China Sea and comparison of analysis methods

LIU Yong, CHENG Jiahua

Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization, Ministry of Agriculture;
East China Sea Fisheries Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China

Abstract: Water temperature is an important factor affecting fish activities, and fish in stages such as breeding, growth, and development, have different demands in terms of water temperature. Based on survey data from four seasons in 2014 to 2015—using frequency and biomass approaches and the R language drawing technique—the water-temperature distribution characteristics of small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*) were analyzed and compared. The results show that the ranges of temperature distribution, determined using frequency and biomass, were obviously different, and the proportion of the former covers a relatively high proportion of survey stations, and the latter has a higher proportion of accumulated biomass. The latter is in the condition of ensuring a high biomass accumulation proportion, and can also have a higher proportion of station coverage in special seasons, such as summer and fall; based on the biomass to determine the temperature range can better reflect the distribution characteristics of target objects. Compared with the results of historical research, the water-temperature distribution range of this paper is basically consistent, and it is concluded that the water temperature distribution range of small yellow croaker is relatively stable. The results of this paper reflect the general characteristics of *P. polyactis*. The results showed that there were two groups of *P. polyactis*, and the distribution of temperature and space of the two groups was obviously different. One group was distributed northward, and the most southern distribution did not go beyond Zhoushan fishing ground; the other group was distributed southward, and the most northern distribution did not go beyond the Yangtze River-estuary fishing ground. The difference in the environmental characteristics of the population distributions can be used as a basis for population division. The results of this paper can be used as a side evidence for the division of *P. polyactis*. The results show that resource clustering in the spring and winter was higher than that in the summer and winter. The cold-season population structure was single, mainly the winter bait-chasing population, and the warm-season population structure complex, including spawning, recruitment, and other groups; the warm season appears multiple high biomass water temperature range, which may be related to different temperature preferences of the different groups.

Key words: East China Sea; small yellow croaker; temperature distribution; comparison of methods

Corresponding author: LIU Yong. E-mail: liuy@ecsf.ca.cn