

doi: 10.7541/2013.3

闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷群体集群行为宏观量化与分析

蔡建堤 马超 姜双城 吴建绍 蔡玉婷 刘勇

(福建省水产研究所, 厦门 361013)

摘要: 根据 1998 年 7 月到 2000 年 6 月闽南-台湾浅滩渔场开展二长棘鲷资源的专项调查资料, 计算出闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷的各月 \bar{E} 值, 定量分析其集群行为变化规律。结果表明: 闽南-台湾浅滩二长棘鲷全年月平均 \bar{E} 为 7.4409×10^8 J, 生殖期间 12 月到翌年 3 月, 其月平均 \bar{E} 2.4949×10^8 J, 是全年月平均 \bar{E} 的 0.34 倍, 鱼群集中; 4—5 月, 幼鱼大量出现, 月平均 \bar{E} 为 4.556×10^8 J, 是全年月平均 \bar{E} 的 0.61 倍, 鱼群相对集中; 主要索饵季节 6—8 月, 月平均 \bar{E} 为 1.3448×10^9 J, 是全年月平均 \bar{E} 的 1.81 倍, 鱼群分散; 9—11 月, \bar{E} 分别为 1.435×10^9 、 9.7409×10^8 、 5.769×10^8 J, 分别是全年月平均 \bar{E} 的 1.93、1.31、0.78 倍, 鱼群为适应水温和寻找产卵场, 在外移过程中逐渐集中。可见, 闽南-台湾浅滩二长棘鲷的生殖群体集群性最强, 其次是幼鱼群体、以适应水温和寻找产卵场为目的的群体, 而索饵群体分散。

关键词: 集群行为; 宏观量化; 重心; 二长棘鲷; 闽南-台湾浅滩渔场

中图分类号: S931 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2013)02-0185-06

二长棘鲷(*Parargyrops edita* Tanaka)属于近海暖水性近底鱼类, 栖息于底质岩礁、砂砾、泥沙的海域。二长棘鲷是闽南-台湾浅滩渔场重要经济鱼类资源, 全省近海都有分布, 但主要分布于闽南-台湾浅滩渔场, 同时还分布在日本南部、东海、台湾海峡、南海北部和印度尼西亚沿海^[1]。闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷群体有显著的集群行为, 4—5 月份大量的二长棘鲷幼鱼在闽南渔场近岸海域出现, 6—8 月份索饵群体广泛分布于闽南-台湾浅滩中北部近岸海域, 12 月到翌年 3 月是二长棘鲷生殖期^[2, 3]。研究和掌握二长棘鲷集群行为规律, 有助于了解鱼类生活习性、提高其捕捞效率等^[4-6]。

鱼类集群行为的分析方法, 可分为宏观定性和微观量化^[7-10]。宏观定性分析方法主要是通过捕捞记录和鱼类生物学研究等定性研究鱼群的集群行为(产卵集群、索饵集群等), 如徐兆礼等^[11]根据中国大陆 10 多个主要渔业公司 1971—1982 年间的小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)捕捞统计资料, 研究了中

沿海小黄鱼的洄游路线, 史赞荣等^[12]根据 2010 年 5—6 月在长江口进行的渔业资源与生态环境调查数据与历史资料, 研究了鱼类群落结构的变动状况等; 而微观量化分析方法主要采用现场实测法、水槽试验法和数学模拟法等以研究局部水域、某些环境因子对集群行为的影响^[13], 如 Moss, *et al.*^[14]采用现场实测法研究溶解氧和二氧化碳对鱼类行为的影响, 董首悦等^[15]现场对周边通行船舶的水下噪声及江豚声纳信号脉冲事件进行了定点监测和记录以研究江西鄱阳湖湖口水域船舶通行对长江江豚发声行为的影响, Strand, *et al.*^[16]用水槽试验法在实验室观察南极磷虾(*Euphausia superba*)的集群行为, 袁喜等^[17]通过自制密封的鱼类游泳实验装置研究流速对细鳞裂腹鱼游泳行为和能量消耗, Goodwin, *et al.*^[18]用数学模拟法应用欧拉方程预测鱼类的运动规律等。宏观定性分析方法只能初步了解其集群集中程度, 不能掌握确切的集群规律, 而且定性分析研究的资料易使研究者产生偏倚, 不恰当地使用可能会导致误

收稿日期: 2011-12-29; 修订日期: 2012-12-20

基金项目: 福建省海洋与渔业局项目(批准号: 97005); 福建省科技厅基本科研专项“种群格局在渔业资源的开发与应用研究”资助

作者简介: 蔡建堤(1972—), 男, 福建厦门人; 副研究员; 主要从事渔业资源、海洋环境监测等方面的研究。E-mail: caijidi@sina.com

通信作者: 吴建绍, E-mail: wujianshao@sina.com

为原点, 横坐标 x 为行, 纵坐标 y 为列, 用 (i, j) 为第 i 行、 j 列海区(图 1)。

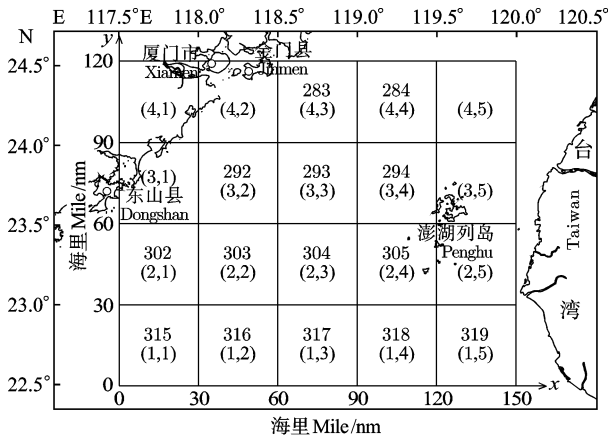


图 1 渔区图

Fig. 1 Map of fishing zone

可以证明: 在单位时间内二长棘鲷鱼群到其重心点动能 E_0 最小, 即

$$\min(E_0) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_{i,j} \times v_{i,j}^2 \quad (1)$$

$m_{i,j}$ 为第 i 行、 j 列海区二长棘鲷鱼群重量(kg); $v_{i,j}$ 为 i 行、 j 列渔区二长棘鲷鱼群的平均运动速度。

$$v_{i,j} = \frac{L_{i,j}}{t}, \quad L_{i,j} \text{ 为 } (i, j) \text{ 海区到其重心点的距离(m);}$$

$m_{i,j}$ 和 $\rho_{i,j}$ 成正比, $r_{i,j}$ 为第 i 行、 j 列海区二长棘鲷平均鱼群密度(kg/net); M 为各渔区鱼群总重量(kg); ρ 为各渔区鱼群密度的总和(kg/net); 令 $t=1$; 则在单位时间内每千克的二长棘鲷到其群体重心点最小集群动能 \bar{E} 为:

$$\bar{E} = \min(E_0) / M = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \rho_{i,j} \times L_{i,j}^2 / \rho \quad (2)$$

因为 $L_{i,j}$ 是 (i, j) 为海区到重心的距离, 所以 $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n L_{i,j}^2$ 值越小, 表示鱼群空间分布比较靠近鱼群质量重心, 集群性强; 其值越大, 表示鱼群集群性弱, 鱼群分散。因此, \bar{E} 可以表征鱼群的鱼群集中

程度, 量化鱼类的集群行为。这是一种基于重心距离研究鱼类集群行为的方法。

2 结果

2.1 计算结果

二长棘鲷的鱼群各月 \bar{E} 值计算结果(表 2)。

2.2 分析

闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷全年月平均 \bar{E} 为 7.4409×10^8 J。生殖季节 12 月到翌年 3 月, 其月平均 \bar{E} 2.4949×10^8 J, 是全年月平均 \bar{E} 的 0.34 倍, 鱼类生殖群体集群性最强; 4—5 月幼鱼大量出现, 月平均 \bar{E} 为 4.556×10^8 J, 是全年月平均 \bar{E} 的 0.61 倍, 幼鱼群体相对集中; 主要索饵季节 6—8 月, 月平均 \bar{E} 为 1.3448×10^9 J, 是全年月平均 \bar{E} 的 1.81 倍, 其中 8 月份 \bar{E} 最大为 2.1631×10^9 J, 是全年月平均 \bar{E} 的 2.91 倍, 鱼群分散最明显, 其次是 6 月份 \bar{E} 为 1.2123×10^9 J, 是全年月平均 \bar{E} 的 1.63 倍, 7 月份 \bar{E} 为 6.5897×10^8 J, 小于全年月平均 \bar{E} , 为其 0.89 倍, 鱼群相对集中。可见, 闽南-台湾浅滩二长棘鲷群体在索饵洄游期间, 分散索饵, 且索饵场的范围比较大, 7 月鱼群相对集中, 8 月鱼群明显开始分散。9—11 月, 月平均 \bar{E} 分别为 1.435×10^9 、 9.7409×10^8 、 5.769×10^8 J, 分别是全年月平均 \bar{E} 的 1.93、1.31、0.78 倍, 鱼群月平均 \bar{E} 逐渐变小, 9 月份鱼群较分散, 而 11 月份鱼群集中明显, 11 月份 \bar{E} 为 9 月份 \bar{E} 2.47 倍, 这是因为鱼群为适应水温和生殖, 在外移过程中逐渐集中。全年 8 月份鱼群最为分散, 其次 9 月份, 其余依次为 6 月、10 月、1 月、4 月、7 月、11 月、5 月、3 月、12 月和 2 月, 分散程度依次占全年的 24.2%、16.1%、13.6%、10.9%、8.6%、7.7%、7.4%、6.5%、2.5%、2.5%、0%、0%(图 2)。可见, 闽南-台湾浅滩二长棘鲷的生殖群体集群性最强, 其次是幼鱼群体、以适应水温和寻找产卵场为目的的群体, 而索饵群体分散。

表 2 二长棘鲷各月最小集群动能

Tab. 2 The minimum cluster kinetic energy of *P. edita* each month

项目 Item	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
最小集群动能/ 10^8 J Minimum cluster kinetic energy	7.7173	0	2.2623	6.879	2.2330	12.123	6.5897	21.631	14.346	9.7408	5.769	0

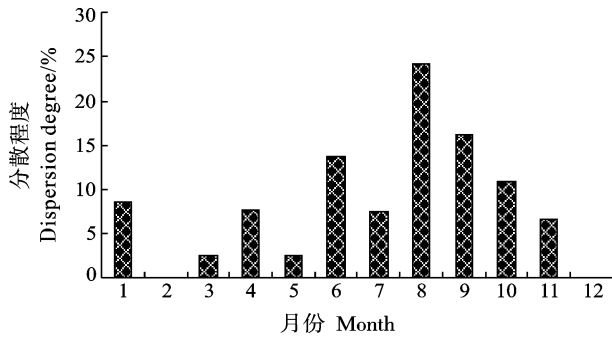


图2 二长棘鲷各月分散程度

Fig. 2 The dispersion degree of *P. edita* Tanaka each month

3 讨论

叶孙忠等^[2, 3]根据1998年7月至2000年6月在闽南-台湾浅滩二长棘鲷调查的渔捞记录和生物学资料, 研究其集群变化规律: 闽南-台湾浅滩二长棘鲷在索饵洄游6—8月期间渔场资源密度比较大, 7月份鱼群比较集中, 8月份鱼群明显开始分散, 9月份群体密度继续下降且向南、外移动。本研究与叶孙忠等^[2, 3]采用宏观定性研究闽南-台湾浅滩二长棘鲷集群行为的结果一致, 但宏观定量分析比宏观定性分析闽南-台湾浅滩二长棘鲷集群行为更为科学、准确, 且得出广泛而深入的结论。

实际上, 闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷群体的集群不可能同时向重心移动, \bar{E} 只是理论上单位时间内每千克二长棘鲷到其群体重心点动能最小值, 非实际的集群动能的值, 但可表征鱼群集群行为的强弱。如12月和2月 \bar{E} 为0, 并不意味12月和2月二长棘鲷不需消耗集群动能, \bar{E} 值表征其鱼群集群性强; 8月 \bar{E} 最大为 2.1631×10^9 J, 非8月二长棘鲷实际消耗的集群动能, \bar{E} 值表征8月鱼群最为分散。

闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷的集群行为是个比较复杂的现象, 影响其集群性的因素多种多样, 如种类、个体发育阶段、生理性状况、各种生活机能、集群栖息的环境条件等, 而有的因素我们尚未清楚^[25, 26]。如果二长棘鲷集群行为的量化都考虑这些因素, 那么量化过程将十分复杂, 甚至无法量化集群行为, 所以在研究集群行为中应抓住主要问题, 闽南-台湾浅滩渔场二长棘鲷的集群性会在其资源密度时空分布中体现, 因此可以通过鱼类资源密度时空分布来研究其的集群性。这是从宏观方面研究二长棘鲷集群行为的方法, 简化了集群行为量化研究问题的复杂性, 更科学、准确地掌握其集群规律。

但在宏观定量分析二长棘鲷集群行为之前要先对其进行适当的宏观定性研究, 没有定性的定量是一种盲目的、毫无价值的定量, 宏观定量分析应与宏观定性分析相互补充。该集群行为的量化方法简单, 所需的数据来源简单, 但该方法只能研究表象上二长棘鲷鱼群集群规律, 而微观定量分析集群行为的方法能进一步揭示其集群的内在规律^[27, 28], 因此要完善二长棘鲷集群行为规律的研究, 还需要做适当的微观定量分析。

集群行为的宏观量化转变了鱼群集群特征的表现方式, 从定性描述鱼群集群行为特征转变为定量分析鱼群集群行为特征, 在更精细和全面的水平上反映出鱼类集群行为特性, 对于确定种群特征、种群间相互关系以及种群与环境之间的关系具有非常重要的作用。鱼类集群行为是鱼类种群特征的基本组成要素之一, 与渔业资源的诸多方面有关, 如鱼群规模、渔场中心、鱼类种群分布格局(集群分布、均匀分布和随机分布)、渔场荒漠化等级等, 因此, 集群行为的宏观量化有着潜在应用价值, 可为渔业学科的研究提供新的思路。

致谢:

福建省水产研究所的叶孙忠、张壮丽、汪伟洋、叶泉土同志参加生物学测定、资料整理等工作, 谨致谢忱。

参考文献:

- [1] Zhu Y D. Fish Volunteers in Fujian Second Volume [M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press. 1984, 175—177 [朱元鼎. 福建省鱼类志下卷. 福州: 福建科学技术出版社. 1984, 175—177]
- [2] Ye S Z. The distribution in time and space of *Parargyrops edita* Tanaka in south Fujian and Taiwan bank fishing ground [J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 2004, (4): 36—39 [叶孙忠. 闽南、台湾浅滩二长棘鲷群体数量的时空分布. 福建水产, 2004, (4): 36—39]
- [3] Ye S Z, Xiao F S, Chen W Y. The population structure of *Parargyrops edita* Tanaka in South Fujian and Taiwan bank fishing ground [J]. *Journal of Fujian Fisheries*, 2004, (1): 23—30 [叶孙忠, 肖方森, 陈文勇. 闽南、台湾浅滩二长棘鲷群体结构特征. 福建水产, 2004, (1): 23—30]
- [4] Feng C L, Li Z G, Huang H L, et al. Application of fish behavior research in fishing [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2009, 24(2): 167—170 [冯春雷, 李志国, 黄洪亮, 等. 鱼类行为研究在捕捞中的应用. 大连水产学院学报, 2009, 24(2): 167—170]

- [5] Liu J Q, Chai Y. Application of fish behavior research in aquaculture [J]. *Science & Technology Information*, 2010, (10): 110 [刘俊强, 柴毅. 鱼类行为学在水产养殖中的应用研究. 科技信息, 2010, (10): 110]
- [6] Huang X R, Zhuang P. Fish behavioral research status and the application in practice [J]. *Freshwater Fisheries*, 2002, (6): 53—56 [黄晓荣, 庄平. 鱼类行为学研究现状及其在实践中的应用. 淡水渔业, 2002, (6): 53—56]
- [7] He D R, Cai H C. Fish Behavior [M]. Xiamen: Xiamen University Press. 1988, 28—52 [何大仁, 蔡厚才. 鱼类行为学. 厦门: 厦门大学出版社. 1988, 28—52]
- [8] Zhao S L. Research progress in fish ethology [J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2010, 31(9): 102-104 [赵世亮. 鱼类行为学研究进展. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(9): 102—104]
- [9] Zhu C L. Research progress in fish behaviour ecology [J]. *Journal of Beijing Fisheries*, 2007, (1): 20—24 [朱存良. 鱼类行为生态学研究进展. 北京水产, 2007, (1): 20—24]
- [10] Chai Y, Xie C X, Wei Q W, et al. Research progress in fish ethology [J]. *Reservoir Fisheries*, 2006, (3): 1—2 [柴毅, 谢从新, 危起伟, 等. 鱼类行为学研究进展. 水利渔业, 2006, (3): 1—2]
- [11] Xu Z L, Chen J J. Analysis on migratory routine of *Larimichthys polyactis* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2009, 16(6): 931—940 [徐兆礼, 陈佳杰. 小黄鱼洄游路线分析. 中国水产科学, 2009, 16(6): 931—940]
- [12] Shi Y R, Chao M, Quan W M, et al. Spatial variation in fish community of Yangtze River estuary in spring [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(5): 1141—1151 [史赟荣, 晁敏, 全为民, 等. 2010 年春季长江口鱼类群落空间分布特征. 中国水产科学, 2011, 18(5): 1141—1151]
- [13] Ren W G. The purpose of the research fish behaviour and methods [J]. *Marine Fisheries*, 1992, (5): 221—224 [任为公. 研究鱼类行为的目的与方法. 海洋渔业, 1992, (5): 221—224]
- [14] Moss S A, McFarland W N. The influence of dissolved oxygen and carbon dioxide on fish schooling behavior [J]. *Marine Biology*, 1970, (2): 100—107
- [15] Dong S Y, Dong L J, Li S H, et al. Effects of vessel traffic on the acoustic behavior of Yangtze finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides asiaorientalis*) in the confluence of Poyang Lake and the Yangtze River: using fixed passive acoustic observation methods [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36(2): 246—254 [董首悦, 董黎君, 李松海, 等. 江西鄱阳湖湖口水域船舶通行对长江江豚发声行为的影响. 水生生物学报, 2012, 36(2): 246—254]
- [16] Strand S W, Hamner W M. Schooling behavior of Antarctic krill (*Euphausia superba*) in laboratory aquaria: Reactions to chemical and visual stimuli [J]. *Marine Biology*, 1990, (3): 355—359
- [17] Yuan X, Tu Z Y, Han J C, et al. The effects of dissolved oxygen levels on resting oxygen consumption and swimming performance in juvenile darkbarbel catfish *Pelteobagrus vachelli* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2012, 36(2): 270—275 [袁喜, 涂志英, 韩京成, 等. 流速对细鳞裂腹鱼游泳行为及能量消耗影响的研究. 水生生物学报, 2012, 36(2): 270—275]
- [18] Goodwin R A, Nestler J M, Anderson J J, et al. Forecasting 3-D fish movement behavior using a Eulerian-Lagrangian-agent method (ELAM) [J]. *Ecological Modelling*, 2006, 192(1/2): 127—131
- [19] Xu Z L, Chen J J. Analysis of migratory route of *Larimichthys crocea* in the East China Sea and Yellow Sea [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(3): 429—437 [徐兆礼, 陈佳杰. 东黄海大黄鱼洄游路线的研究. 水产学报, 2011, 35(3): 429—437]
- [20] Tian M C, Xu G Z, Jin R X. Morphological characteristics and geographical population problem of *Larimichthys crocea* [J]. *Studia Marina Sinica*, 1962, (2): 79—97 [田明诚, 徐恭昭, 金日秀. 大黄鱼形态特征的地理变异和地理种群问题. 海洋科学集刊, 1962, (2): 79—97]
- [21] Zhong X M, Zhang H, Tang J H, et al. Temporal and spatial distribution of *Larimichthys polyactis* Bleeker resources in offshore areas of Jiangsu Province [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(2): 238—246 [仲霞铭, 张虎, 汤建华, 等. 江苏近岸海域小黄鱼时空分布特征. 水产学报, 2011, 35(2): 238—246]
- [22] Ye S Z, Liu Y, Zhang Z L. The quantitative distribution and biological characteristics of *Charybdis riversandersoni* in Northeast [J]. *Marine Fisheries*, 2010, (2): 172—177 [叶孙忠, 刘勇, 张壮丽. 闽东北外海光掌蟳数量分布及其生物学特点. 海洋渔业, 2010, (2): 172—177]
- [23] Fang S M, Yang S Y. Studies on spatial distribution of round scad and common mackerel communities in Minnan-Taiwan Bank fishing ground [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2006, (3): 374—380 [方水美, 杨圣云. 闽南-台湾浅滩渔场蓝圆鲹和鲈鱼群聚空间分布的研究. 台湾海峡, 2006, (3): 374—380]
- [24] Li D L, Zhang T, Yu J B, et al. Temporal and spatial distributional patterns of mollusca in a typical aquacultural lake—Datong Lake [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35(6): 946—954 [李德亮, 张婷, 余建波, 等. 典型养殖湖泊大通湖软体动物的时空分布格局. 水生生物学报, 2011, 35(6): 946—954]
- [25] Liu E S. Review on the interrelationship between fishes and water environment [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 30(3): 391—399 [刘恩生. 鱼类与水环境间相互关系的研究回顾和设想. 水产学报, 2007, 30(3): 391—399]
- [26] Liu Q, Ren Y P, Wang Y J. Fish population behavior and their relation to the environment variations [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2000, 30(3): 477—481 [刘群, 任一平, 王艳君. 鱼类种群行为及其与环境变化的关系. 青岛海洋大学学报, 2000, 30(3): 477—481]
- [27] Shinnosuke N, Reiji M, Masaru T. Onsets of schooling be-

havior and social transmission in chub mackerel *Scomber japonicus* [J]. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2006, **9**: 1383—1390

[28] Gerasimov Yu V, Stolbunov I A. Effect of environmental

information richness during early development of bream (*Abramis brama*; Cyprinidae) upon feeding and defensive behavior of its yearlings Stolbunov [J]. *Journal of Ichthyology*, 2007, **3**: 246—253

MACRO-LEVEL QUANTIFICATION AND ANALYSIS OF SCHOOLING BEHAVIOR OF *PARARGYROPS EDITA* TANAKA IN MINNAN-TAIWAN BANK FISHING GROUND

CAI Jian-Di, MA Chao, JIANG Shuang-Cheng, WU Jian-Shao, CAI Yu-Ting and LIU Yong

(Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361013, China)

Abstract: According special investigation material of *Parargyrops edita* population in Minnan-Taiwan bank fishing ground from July 1998 to June 2000, the \bar{E} value in each month of *P. edita* population was calculated, which used to quantificationally analyse the variation rule of schooling behavior. The results showed that the annual monthly average \bar{E} of *P. edita* population in Minnan-Taiwan bank fishing ground is 7.4409×10^8 J, in the reproduction period which from December to March of the next year, the average monthly \bar{E} is 2.4949×10^8 J, which was 0.34 times of the annual average, that meant the fish concentrated; young appeared in large numbers from April to May, and the average monthly \bar{E} was 4.556×10^8 J, which was 0.61 times of the annual average, the fish relatively concentrated; in feeding migratory months from June to August, the average monthly \bar{E} was 1.3448×10^9 J, which was 1.81 times of the annual average, the fish dispersed; \bar{E} was 1.435×10^9 , 9.7409×10^8 , 5.769×10^8 J from September to November respectively, which was 1.93, 1.31 and 0.78 times of the annual average \bar{E} ; in the transfer process, the fish population gradually concentrated in order to adapt to water temperature and look for spawning grounds. So schooling behavior of the reproductive population of *P. edita* in Minnan-Taiwan bank fishing ground was the strongest, followed by a young group and the group which need adapt to the water temperature and search for spawning grounds, while the feeding group disperse.

Key words: Schooling behavior; Macro-level quantification; Gravity; *Parargyrops edita* Tanaka; Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground