

文章编号: 1004-2490(2014)06-0481-08

小黄鱼生物学特征与资源数量的演变

严利平, 刘尊雷, 张辉, 凌建忠, 袁兴伟, 李圣法

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

摘要: 通过分析 20 世纪 50 年代以来小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 资源动态和生物学特征演变, 阐述其生物学特征与种群数量的变动机理, 揭示种群兴衰的关键因素, 评估小黄鱼的渔业风险。结果显示, 小黄鱼资源动态由上世纪 50 年代的丰盛期演变至 80 年代的衰退低谷期, 转而又发展到 90 年代初期的恢复期乃至此后的稳定丰厚期; 年龄结构由 50 年代的 10 龄以上缩短到 80 年代的 1~5 龄, 并继续缩小至 90 年代以来的 1~3 龄, 世代周期缩短; 以 1 龄鱼为初届性成熟年龄比例由 50 年代的少量 (5%) 扩大到 80 年代的中等 (40%), 进一步演变到 21 世纪初以来的大量 (74%~100%); 个体绝对繁殖力从 60 年代初至 90 年代初显著提高, 90 年代以来无显著变化; 生长参数 K 随资源丰厚与衰退而相应地减缓与加速, 具有可逆的表型特征。小黄鱼资源数量和生物学性状的变动机理表明过度捕捞可导致开发性鱼类种群衰退, 但鱼类种群为抗御过度捕捞而诱导生命史特征演变, 并在适宜的渔业管理措施下有望实现鱼类种群恢复; 性成熟提前和繁殖力提高是种群恢复的关键因素, 针对性成熟和繁殖力的演变进化程度已接近极限或达最大潜力, 如不控制捕捞强度, 小黄鱼渔业面临着崩溃的风险。

关键词: 小黄鱼; 年龄结构; 生长参数 K ; 繁殖力; 性成熟; 资源动态

中图分类号: S 931.4 **文献标识码:** A

小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*, 同种异名 *Pseudosciaena polyactis*) 隶属石首鱼科的硬骨鱼类, 广泛分布于包括渤海、黄海和东海, 以及 $22^{\circ}00'N \sim 41^{\circ}00'N$ 、 $117^{\circ}00'E \sim 141^{\circ}00'E$ 之间的亚热带水域、120 m 水深以内的西北太平洋^[1], 昼夜栖息于近底层^[2]。其渔获主要来自东海和黄海海域, 20 世纪 90 年代以前曾是中、日、韩三国利用对象, 当前为中国和韩国所利用, 并以中国的渔获量占绝对多数^[3-6], 中国以底拖网、张网、流刺网为主要捕捞方式, 在中国的渔业中占有重要地位^[7]。

受人类捕捞行为扰动、海洋环境污染造成的生境破坏、气候变化和种间生态变化, 以及渔场地理变化和周边国家的共同管理效应, 小黄鱼的种群数量和生物学特征处于不断的变化中。引

人关注的是, 全球小黄鱼渔获量自 1990 年的 52 895 t 迅猛上升到 2012 年的 437 613 t^[8]。然而, 小黄鱼在年总死亡率增加的趋势下^[9], 与小黄鱼渔获量持续上升态势相伴随的, 却是其年龄组成序列缩短、性成熟提前、渔获小型化的资源衰退表象^[9-10], 因此, 理解小黄鱼种群动态与生物学特征演变的内在关系对有效的渔业管理具有启示意义。

关于小黄鱼年龄、繁殖、生长等生物学特征的研究报道诸多^[3,9-17], 但未见这些表型特征变化与种群动态的相互关系研究, 为此, 本文拟从上世纪 50 年代初以来小黄鱼群体组成、生长、性成熟、生殖力等生物学特征变化的视角, 阐述小黄鱼生物学特征与种群数量的变动机理, 揭示种群兴衰的关键因素, 评估渔业风险, 旨为小黄鱼

收稿日期: 2014-09-25

基金项目: 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (201303047); 农业部专项—近海渔业资源调查 (2014) 和中日暂定水域渔业资源调查 (1999~2014); 国家自然科学基金青年基金 (31101901)

作者简介: 严利平 (1964-), 男, 上海人, 研究员, 主要从事渔业资源评估和管理工作。Tel: 021-65803266, E-mail: Lipingyan@smmail.cn

合理利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 种群选择

分布于渤海、黄海和东海的小黄鱼分为黄渤海群、南黄海群和东海群 3 个群系^[18-19], 尤其以南黄海群的数量最大^[6-20]。在以往小黄鱼生物学的研究报道中, 多见南黄海群小黄鱼作为研究对象, 本研究延续这一状况, 便于长时间序列的对比分析。

1.2 资料收集

小黄鱼样本取自 31°30'N~35°00'N、122°00'E~126°00'E 的海域, 在该范围内洄游分布的小黄鱼可视为南黄海群^[6], 1999 年以来, 每月随机取样 100 ind 以上小黄鱼用于测定体长、体重、性别、性成熟度、生殖力等指标。

小黄鱼渔获量引用 FAO 渔业统计数据, 时间跨度为 1953~2012 年, 国别为中国、日本和韩国^[21]。

1.3 年龄结构

1956~1998 年小黄鱼年龄资料已有报道^[3-22], 1999 年以后, 选用产卵期 4~5 月^[3]的小黄鱼体长测定数据来换算年龄, 利用 Normsep 方法获取各相对年龄组的平均体长(\bar{L}_i)、标准差(SD_i)和尾数^[23]。

1.4 生长参数

生长参数除引用已发表的文献外^[3, 12, 14], 还估算了连续采样月份多且每月样本量大的 2001 年、2007 年和 2011 年的小黄鱼生长参数, 月份基准以每年的 7 月至翌年的 5 月或 6 月作为时间序列, 以 10 mm 为间距来分组体长频数, 利用 ELEFAN 技术估算生长参数(K)和渐近体长(L_∞), 选取在生物学上能被接受且拟合优度(SCORE)尽量大的参数组(K 与 L_∞)作为生长参数的估计值^[23]。

1.5 初次性成熟体长和性成熟年龄比例

2000 年以后, 以每年 4~5 月随机取样、观察的雌性 III 期以上性腺发育小黄鱼作为性成熟个体, 以 10 mm 为间距, 以不同体长组的性成熟个体百分比采用 Logistic 曲线拟合, 计算雌性小黄鱼的初次性成熟体长($L_{50\%}$)^[24]:

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{-(a + bL_i)}}; L_{50\%} = -a/b$$

式中 P_i 为性成熟个体占组内样本的百分比; L_i 为各体长组(mm); a 和 b 为待估的参数。

在使用 Normsep 方法获取各年龄组的平均体长、标准差的基础上, 逆向估算各年龄组的 95% 体长区间: $[(\bar{L}_i - 1.96SD_i), (\bar{L}_i + 1.96SD_i)]$, 其中 i 为各龄鱼($i = 1, \dots, n$), 1 龄鱼体长区间取 $[L_{\min}, (\bar{L}_1 + 1.96SD_1)]$, 以此由雌性体长组转换成年龄组表述的发育程度, 然后估算各龄鱼的成熟比例。

2 结果

2.1 年龄结构

20 世纪 50~60 年代小黄鱼群体组成由 1~10 龄以上组成, 至 80 年代降至 1~5 龄, 90 年代以来进一步缩小到 1~3 龄甚至 1~2 龄(图 1), 反映出小黄鱼在不断持续开发利用中, 年龄结构越趋简单, 并从 90 年代以来长期处于低龄化的状态中。事实上, 近 20 年来, 在开捕年龄为 4~5 月龄^[25]和高捕捞强度的持续状况下^[9], 通常会导致世代周期缩短。

需要说明的是, 拖网和张网的网囊网目变小(例如, 拖网的网囊网目由 50~80 年代的 54 mm 缩小至 90 年代以来的 26~32 mm, 80 年代始开发的帆张网的网囊网目仅 20~30 mm)^[26], 导致开捕年龄提前, 以及在 50~70 年代低龄鱼不作为上岸交易对象, 其结果使年龄组成比例“失真”, 例如, 50~60 年代的 1 龄鱼比例偏低或零比例(图 1)。

2.2 性成熟特征

从不同年代的初届性成熟体长变化看, 1959 年为 140~160 mm, 1981 年偏小到 120~140 mm^[3], 1993~1995 年缩小为 110~120 mm^[14], 至 21 世纪初以来进一步下降至 94~115 mm(表 1)。依据各年代间生长方程反演和产卵期在 4~5 月的综合判断, 上述年间小黄鱼初届性成熟体长的对应年龄均为 1 龄鱼, 显示出 1 龄鱼的个体越趋小型化。

然而, 根据性腺发育观察, 2000~2013 年 1 龄鱼雌性成熟比例为 74%~100%(表 1), 2 龄及以上雌性成熟比例达 100%; 而 1959 年 1 龄鱼和 2 龄鱼雌性成熟比例小于 5% 和 70%, 1981 年分别增大到 40% 和 90%^[3]。可见, 小黄鱼初届性成熟年龄虽然未变, 仍为 1 龄, 但是随着年间延

续 不同年龄组群体加入产卵的可能性处于增加之中,尤其以 1 龄鱼最为显著,呈现出性成熟年龄提前的现象。

虽然在以往研究中未涉及到 $L_{50\%}$ 的分析,但显然 2000 ~ 2013 年间为 102.95 ~ 122.50 mm 的 $L_{50\%}$ (表 1) 与 1959 年为 170 ~ 190 mm、1981 年为 150 ~ 180 mm 的大量性成熟体长相比^[3]要小得多,表明小黄鱼性成熟体长趋于小型化。显然,这与 1 龄鱼由少量性成熟演变到普遍性成熟的

趋势相吻合。

2.3 生长速度

以生长参数 K 来表示小黄鱼生长速度的演变看,上世纪 60 年代初期小黄鱼生长相对缓慢,80 年代初期生长加速,90 年代中期出现生长减速,90 年代末期至 20 世纪初显示生长加速,2003 年以后又出现生长速度减缓的状况(表 2)。可见,小黄鱼的生长速度在持续开发利用中保持非加速的态势,具有可逆的特性。

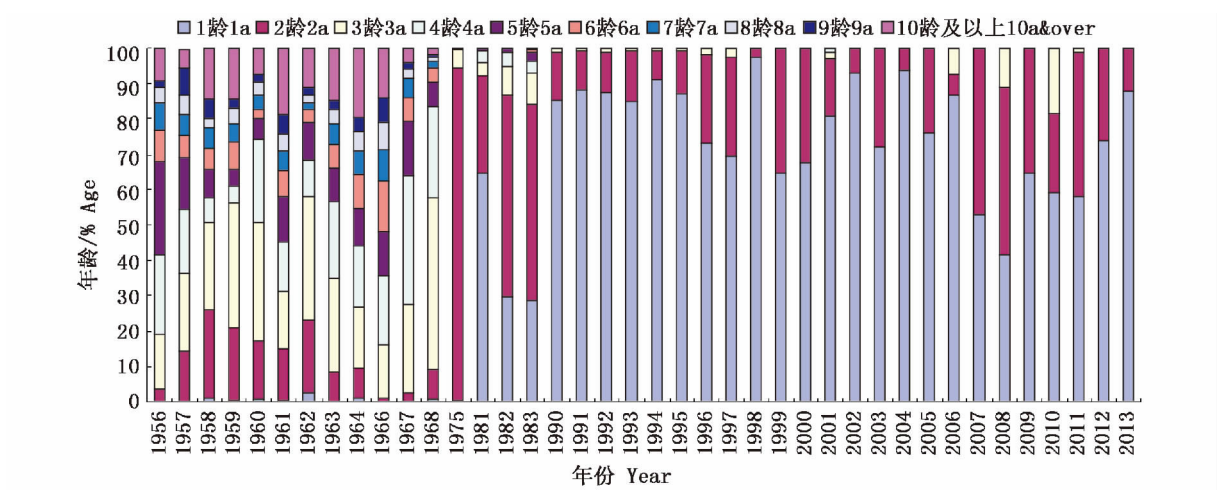


图 1 南黄海群小黄鱼群体组成

Fig. 1 The population composition of small yellow croaker in the southern Yellow Sea school

注: 文献[3 22]的原文中,1969 至 1989 年间的多数年份年龄资料是缺失的
Note: Age data of most years between 1969 and 1989 are missing in the original literature [3 22]

表 1 南黄海群小黄鱼性成熟指标值变化

Tab. 1 Variations of sexual maturation index value of small yellow croaker in the southern Yellow Sea school

取样日期 Sampling date	雌性体长范围/mm Range of female body length	初届性成熟最小体长/mm Minimum body length of the first sexual maturation	50% 性成熟体长/mm Body length of 50% sexual maturation	1 龄鱼雌性成熟比例/% Female sexual maturity percentage of the 1-year-old
2000/04/16 ~ 21	89 ~ 206	102	108.91	82
2001/04/11 ~ 18	88 ~ 191	98	110.09	74
2002/04/16 ~ 22	89 ~ 185	94	116.68	78
2003/04/07 ~ 15	97 ~ 231	104	120.91	87
2004/04/08 ~ 23	75 ~ 206	101	122.50	84
2005/04/21 ~ 25	95 ~ 200	106	120.28	92
2006/04/21 ~ 25	92 ~ 199	95	109.68	83
2007/04/17 ~ 22	96 ~ 213	96	116.67	81
2008/04/10 ~ 20	115 ~ 215	115	118.46	86
2010/05/17 ~ 27	91 ~ 210	95	116.21	89
2011/05/20 ~ 26	95 ~ 221	95	102.95	93
2012/04/10 ~ 15	106 ~ 225	106		100
2013/05/03 ~ 08	90 ~ 194	97	103.55	91

注: 2012 年观察个体全部性成熟, 无法拟合 Logistic 方程; 2009 年无性腺观察资料
Note: The observed individuals are all of sexual maturity in 2012, and it can not fit the logistic equation; there are no observed gonadal data in 2009

表 2 南黄海群小黄鱼生长参数演变

Tab. 2 The evolution of growth rate for small yellow croaker in the southern Yellow Sea school

年份 Year	生长参数 K/a^{-1} Growth parameter K	渐近体长 L_{∞}/mm Asymptote length	文献来源 References	材料 Material
1959 ~ 1960	0.24	347.37	[13]	鳞片 Scale
1983	0.45	292.00	[3]	—
1993 ~ 1995	0.118	366.00	[14]	耳石 Otolith
1998	0.52	280.00	[27]	体长频数 Length frequency
2001	0.51	247.50	本研究 This study	体长频数 Length frequency
2003	0.29	233.23	[12]	鳞片 Scale
2007	0.11	322.50	本研究 This study	体长频数 Length frequency
2011	0.17	288.80	本研究 This study	体长频数 Length frequency

2.4 繁殖力

以观察和计量雌性小黄鱼性腺发育达Ⅳ期和Ⅴ期卵巢内的卵粒总数作为个体绝对繁殖力, 以此表征种群繁衍后代的补充能力。不同观察年的对应体长组个体绝对繁殖力的演变趋势是, 从60年代初^[14]至90年代初^[16]显著增加($P < 0.01$), 而90年代初以来变化不大($P > 0.05$) (图2)。此外, 不同年间个体繁殖力均随个体的大小而变化, 两者显正相关($P < 0.01$), 其个体繁殖力受个体大小制约。

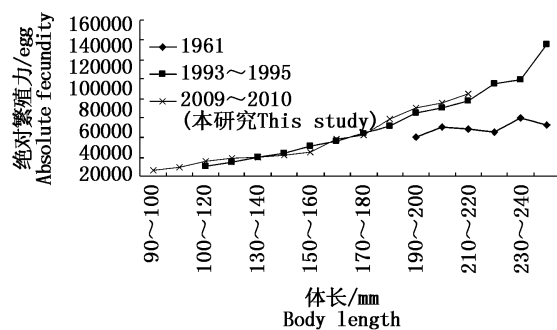


图2 南黄海群小黄鱼对应体长组的
个体绝对繁殖力演变

Fig. 2 The evolution of individual absolute fecundity
of small yellow croaker from different body
length groups in the southern Yellow Sea school

2.5 资源动态

20世纪50年代至80年代, 中国、韩国和日本的小黄鱼渔获量变动有着惊人的相似之处, 在波动中呈现下降趋势, 至80年代降至低谷。然而, 中国的小黄鱼渔获量自20世纪90年代初以来在波动中出现上升; 韩国的小黄鱼渔获量自20世纪80年代末期至21世纪初曾一度上扬, 此后又出现下挫, 但自2005年以来再度上扬(图3)。

就中国而言, 自上世纪50年代利用至今, 捕

捞强度处于持续的增加状态(例如, 渔船增多且功率增大、渔场拓展、渔具规格增大等)^[25-26], 但是在60~80年代渔获量反而下降, 表明小黄鱼资源已出现衰退。至1991年, 渔获量出现增加的倾向, 1994年渔获量接近50年代的年间水平, 反映了小黄鱼种群数量开始出现复苏的迹象, 尤其是1995年至今的年渔获量已超过或数倍于50年代的年间水平, 以及小黄鱼渔获物超过80%当龄鱼上岸交易^[11-12], 意味着资源丰度已超过50年代的资源水平, 表明近20年来的小黄鱼资源处于稳定丰厚期。巧合的是, 韩国政府于2005年实施鱼类资源修复计划以来^[5], 小黄鱼渔获量已接近历史较好水平, 这也表明小黄鱼的资源处于恢复中。日本在东黄海的底曳渔业从20世纪80年代始逐渐下降, 至20世纪90年代中期已基本消失^[28], 导致该国小黄鱼渔业已不复存在。

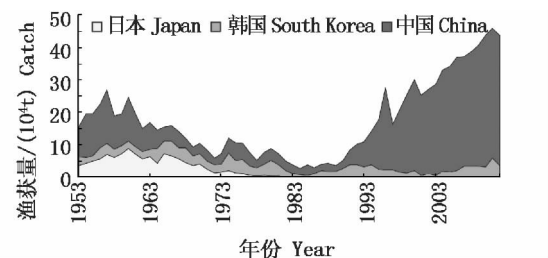


图3 1953~2012年中国、韩国和
日本的小黄鱼渔获量

Fig. 3 The catches of small yellow croaker from
1953 to 2012 of China, South Korea and Japan

3 讨论

3.1 资源数量与生物学特征的演变机理

本研究显示, 近60年来, 小黄鱼种群数量、种群结构和生物学特征处于不断的演变中。小

黄鱼资源由 20 世纪 50 年代初期的丰盛期, 演变至 60~80 年代的衰退期, 然而令人欣慰的是, 90 年代初期资源出现了恢复迹象, 并从 90 年代后半期以来处于稳定丰厚期。可是, 小黄鱼的年龄结构序列越趋简单, 90 年代以来处于“短生命周期”生态类型。

小黄鱼资源从丰盛至衰退、又转至恢复的动态中, 从渔业管理效果看, 中国政府从 1981 年始对南黄海群小黄鱼的主要产卵场——吕四产卵场实施 6 年的全面禁渔制度^[3], 或许确保了有限的繁殖群体正常繁衍后代, 对世代补充起到了不可低估的作用, 反映在 80 年代后期小黄鱼幼鱼数量明显比 70 年代后期增多^[3, 6]; 以及中国政府自 1995 年以来实施的伏季休渔制度, 保护了幼鱼免遭大量捕杀, 但至伏季休渔结束开捕后, 小黄鱼又面临“赛马式”的疯狂捕捞, 对资源起到暂养的增重效果^[25]。

然而, 从繁殖生物学特征的演变来看, 一是, 低龄鱼的性成熟比例普遍上升, 尤其是 1 龄鱼的个体性成熟比例迅猛提高, 与之相对应的性成熟体长越趋小型化。该演变作用极大地弥补了种群繁殖数量缺乏的劣势; 二是, 个体绝对繁殖力显著提高, 尤其以 1961 年至 1993~1995 年的个体绝对繁殖力增加明显。该演变途径有利于增加种群繁衍后代的补充能力。上述繁殖性状上的演变显然对 90 年代初期以来的资源补充能力提升起到了关键作用。

从生长特征的演变看, 生长由资源丰盛期(1959 年)至衰退期(1983 年)处于加速, 之后到恢复期(1993~1995 年)又出现减缓, 1998 年和 2001 年生长速度加快或许意味着该年间的资源丰度相对低下, 2003 年以来在资源丰厚下又出现生长减缓。这也进一步证实了小黄鱼依赖于资源密度的生长规律^[12], 同时具有启示性的是, 以生长速度的变化来定性评价鱼类资源动态不失为较好的手段之一。此外, 年间生长的快慢可直接影响在生长时期的个体大小从而间接导致在繁殖时期的个体繁殖力变化(图 2), 反映出资源丰度的变化不仅潜在地影响了生长, 同时还影响到个体繁殖力, 即资源丰盛时生长相对缓慢, 导致个体变小从而降低个体的繁殖力, 反之, 则有利于个体繁殖力的增加, 说明了资源丰度与生长和繁殖力存在着并存的逆向补偿效应。

种群的平衡取决于生长、补充和死亡, 上述提到的渔业管理措施和繁殖性状演变都有益于资源量的增长。然而, 在近 20 多年几乎没有小黄鱼繁殖期保护措施下, 以及应对超强的捕捞压力下^[9], 小黄鱼资源由衰退至恢复并仍能维持相对稳定的种群数量, 显然, 这说明了小黄鱼补充能力的提升对种群资源的恢复稳定起到了关键作用, 而依赖于资源密度的生长变化对个体繁殖力和资源增重起到了调节作用, 初届性成熟年龄由少量扩大到普遍和个体绝对繁殖力上升是小黄鱼补充能力提升的 2 大关键因素。这也证实了性成熟涉及鱼类生活史阶段的转换, 鱼类的性成熟年龄和大小是其生活史重要特征^[29], 直接影响着鱼类种群的生长率、繁殖力和成活率^[30]。

小黄鱼的资源变动和生物学性状的演变机理揭示了过度捕捞可导致开发性鱼类种群衰退, 但鱼类种群为抗御过度捕捞而诱导了生命史特征演变, 并在适宜的渔业管理措施下有望实现鱼类种群恢复。可见, 鱼类种群对捕捞有很大程度的适应性。但令人迷惑的是, 许多海洋开发鱼类因过度捕捞或生境破坏而相继衰退甚至枯竭, 例如, 同因资源衰退而实施繁殖保护的大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*) (吕四渔场也是大黄鱼的产卵场之一) 至今处于枯竭状态之中^[7], 虽然大黄鱼也具有利于资源补充的生命史特征演变^[3]。这或许说明鱼类种群生命史特征的演变进化程度存在差异, 大黄鱼进化演变能力依然承受不了捕捞压力。

3.2 渔业风险评价

小黄鱼生命史特征进化演变为资源补充提升提供了基础保障。目前其资源丰度已超过 50 年代的水平, 并以“短生命周期”生态类型存在, 这或许说明小黄鱼种群的生态容量形态已发生变化。通常可解释为个体偏小, 能量需求低, 代谢能力差, 在一定生态空间范围内, 可容纳数量更多、体型更小的生命单元集合——“小而密”替代数量相对偏少、体型偏大的生命单元集合——“大而疏”, 同时, 分布区域相同的同属大黄鱼资源衰竭为小黄鱼提供了更大的生态空间。

然而, 应引起警惕的是, 自 90 年代以来, 小黄鱼个体绝对繁殖力变化已无明显的差异, 其自然进化可能接近极限, 达到最大潜力; 同时, 本世纪初以来, 1 龄鱼性成熟比例已达 74%~100%,

其潜力已相当有限; 以及, 小黄鱼繁殖群体自 90 年代以来以首次产卵、普遍性成熟的 1 龄鱼居多, 再次产卵(2 龄鱼及以上) 偏少, 这将产生对后代具有个体大小或生存能力差异的“母体效应”^[31], 体现为 1 龄鱼的个体日益小型化。因此, 当前不应以小黄鱼渔获量持续稳定在高位波动而忽视对其科学的渔业管理, 面对当前小黄鱼生物学表型特征的进化演变几乎已达极限的危险预警, 如果不控制捕捞强度, 小黄鱼渔业将面临资源崩溃的风险, 为此, 针对东、黄海多鱼种复合性渔场, 小黄鱼的中国渔业管理策略应是在现有实施伏季休渔的制度下, 提高开捕年龄(或体长), 延长种群世代周期。

由于生命史特征的演变或许最终导致较低的持续产量^[32-33]和降低群体的稳定^[29], 人们越来越担忧渔业诱导的进化结果。笔者的研究提供了对于开发种群的超强捕捞确实可以导致关键生命史特征迅速演变和生态容量形态替换的证据。此外, 还证实了源于性成熟和繁殖力的进化演变对于资源持续利用所起到关键作用, 以及缓和选择压力——如产卵期禁渔制度和伏季休渔制度等强有力措施对于某些捕捞种群的资源增长可以起到一定的效果, 这为渔业诱导生命史特征等进化演变的实际渔业管理选择提供了谨慎的乐观依据。

参考文献:

- [1] TREWAVAS E. The sciaenid fishes (croakers or drums) of the Indo-west Pacific [J]. Trans. Zool. Soc. Lond., 1977(33): 253-541.
- [2] 严利平, 林龙山, 张寒野, 等. 南黄海族小黄鱼昼夜渔获率差异的统计学分析 [J]. 海洋渔业, 2008, 30(2): 114-119.
- [3] 赵传纲. 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: 318-356.
- [4] CHOO W I. A summary report on yellow croaker in Korea [C]//MARR J C ed. The Kuroshio: a symposium on the Japan current. Honolulu: East West Center Press, 1970: 493-496.
- [5] LEE S G, MIDANI A R. National Comprehensive Approaches for Rebuilding Fisheries in South Korea [J]. World Journal of Fish and Marine Sciences 2013, 5(6): 709-717.
- [6] 堀川 博史, 郑元甲, 孟田湘, 等. 東シナ海・黄海主要資源生物、生態特性 [M]. 长崎: 日本纸业印刷, 2001: 398-415.
- [7] 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: 472-488.
- [8] FROESE R, PAULY D. FishBase: World wide web electronic publication [EB/OL]. [2014-08-30]. <http://www.fishbase.org>.
- [9] 林龙山, 程家骅. 东海区小黄鱼渔业生物学现状的分析 [J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(4): 555-570.
- [10] 林龙山, 程家骅, 任一平, 等. 东海区小黄鱼种群生物学特征的分析 [J]. 中国水产科学, 2004, 1(4): 333-338.
- [11] XU B, JIN X. Variations in fish community structure during winter in the southern Yellow Sea over the period 1985-2002 [J]. Fish. Res., 2005(71): 79-91.
- [12] 严利平, 胡 芬, 凌建忠, 等. 东海北部和黄海南部小黄鱼年龄与生长的研究 [J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(1): 95-100.
- [13] 王尧耕, 熊国强, 钱世勤. 黄海南部、东海北部小黄鱼生长特征的研究 [C]//海洋渔业资源论文选集. 北京: 农业出版社, 1962: 72-80.
- [14] 水柏年. 黄海南部、东海北部小黄鱼的年龄与生长研究 [J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2003, 22(1): 16-20.
- [15] 邱望春, 蒋定和. 黄海南部、东海小黄鱼繁殖习性的初步研究 [C]//海洋渔业资源论文选集. 北京: 农业出版社, 1965: 58-71.
- [16] 水柏年. 小黄鱼个体生殖力及其变化的研究 [J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2000, 19(1): 58-68.
- [17] LI Z L, SHAN X J, JIN X SH, et al. Long-term variations in body length and age at maturity of the small yellow croaker (*Larimichthys polyactis* Bleeker, 1877) in the Bohai Sea and the Yellow Sea, China [J]. Fisheries Research, 2011(110): 67-74.
- [18] 刘效舜. 黄渤海区渔业资源调查与区划 [M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 295.
- [19] 蒙子宁, 庄志猛. 黄海和东海小黄鱼遗传多样性的 RAPD 分析 [J]. 生物多样性, 2003, 11(3): 197-203.
- [20] 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: 308-322.
- [21] FAO. FAO fishstat plus: Food and agriculture organisation of the United Nations Fisheries [EB/

- OL]. [2014 - 09 - 01]. <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/en>.
- [22] 林龙山, 凌建忠, 程家骅, 等. 小黄鱼资源状况及合理利用[J]. 海洋渔业, 2000, 22(3): 120 - 122.
- [23] GAYANILI F C, SPARRE J P, PAULY D. FiSAT II User's Guide [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2002.
- [24] TAFUR R, VILLEGAS P, RABI M, *et al.* Dynamics of maturation, seasonality of reproduction and spawning grounds of the jumbo squid *Dosidicus gigus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in Peruvian waters [J]. Fish. Res., 2001, 54(1): 33 - 50.
- [25] 程家骅, 林龙山, 凌建忠, 等. 东海区小黄鱼伏季休渔效果及其资源合理利用探讨[J]. 中国水产科学, 2004, 11(6): 554 - 560.
- [26] 张秋华, 程家骅, 徐汉祥, 等. 东海区渔业资源及其可持续利用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2007. 489 - 525, 542 - 548.
- [27] 柳卫海, 郭振华, 詹秉义. 东海区小黄鱼资源利用现状分析[J]. 上海水产大学学报, 1999, 8(2): 105 - 111.
- [28] 程家骅, 张秋华, 李圣法, 等. 东黄海渔业资源利用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006, 23 - 57.
- [29] OLSEN E M, HEINO M, LILLY G R, *et al.* Maturation trends indicative of rapid evolution preceded the collapse of northern cod [J]. Nature, 2004(248): 932 - 935.
- [30] DIECKMANN U, HEINO M. Review: probabilistic maturation reaction norms: their history, strengths, and limitations [J]. Marine Ecology Progress Series, 2007(335): 253 - 269.
- [31] JAKOBSEN T, FOGARTY M J, MEGREY B A, *et al.* Fish reproductive biology: Implications for assessment and management [M]. Wiley Blackwell, 2009: 143 - 152.
- [32] LAW R. Fishing, selection, and phenotypic evolution [J]. ICES J. Mar. Sci., 2000(57): 659 - 668.
- [33] CONOVER D O, UNCH S B. Sustaining fisheries yields over evolutionary time scales [J]. Science, 2002(297): 94 - 96.

On the evolution of biological characteristics and resources of small yellow croaker

YAN Li-ping , LIU Zun-lei , ZHANG Hui , LING Jian-zhong , YUAN Xing-wei , LI Sheng-fa
(Key Laboratory of East China Sea & Oceanic Fishery Resources Exploitation and Utilization , Ministry of Agriculture ,
East China Sea fisheries Research Institute , Chinese Academy of Fishery Sciences , Shanghai 200090 , China)

Abstract: The paper analyzed the evolution of biological characteristics and resource dynamics of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) since 1950s , explained the changing mechanism of biological characteristics and population quantity , revealed the key factors for the rise and fall of the population and evaluated the fishery risk of small yellow croaker. Results showed that the resource dynamics of small yellow croaker went from a rich period in 1950s to recession in 1980s , and then developed to a recovery period in early 1990s , and finally to the next lucrative stable period. The age structure of population was shortened from 10 years old in 1950s to 1 – 5 years old in 1980s and 1 – 3 years old after 1990s. The generation period was shortened. The age percentage of the first sexual maturation for the 1-year-old small yellow croaker expanded from rare as 5% in 1950s to moderate as 40% in 1980s. And in early 21 century , it evolved further to massive as 74 – 100% . Individual absolute fecundity increased obviously from early 1960s to 1990s. But there has been no obvious change since 1990s. The growth parameter K was inversely proportional to resource abundance , and they were reversible in characterization. The evolution mechanism of small yellow croaker's resource quantity and biological characteristics explained that the overfishing could result in species recession for the development of populations. The resistance by fish population to the overfishing induced the evolution for life history and the fish population could be recovered by the adequate fishing management. Sexual maturity in advance and the increase for the reproducing fecundity were the key factors for the population recovery. The degree for sexual maturity and fecundity had achieved the limits. If we could not control fishing intensity , the small yellow croaker fishery would face the collapse risk.

Key words: small yellow croaker; age structure; growth parameter K ; fecundity; sexual maturity; resource dynamics