

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.00602

小黄鱼体长-体质量关系和肥满度的年际变化

李忠炉^{1,2,3}, 金显仕², 单秀娟², 戴芳群²

1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071;

2. 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049

摘要: 根据 1960-2010 年渤海和黄海南部春季(4-5 月)14 个航次底拖网调查资料, 采用体长对应平均体质量的方法和相对体质量法, 按性别逐年拟合小黄鱼黄海北部-渤海群系和黄海南部群系雌雄群体的体长-体质量关系, 计算肥满度, 并分析其影响因子。结果显示, 在多数年份内, 小黄鱼雌雄个体间体长-体质量关系参数 b 无显著性差异 ($P>0.05$); 参数 a 和 b 呈极显著负相关关系 ($P<0.01$), $\lg a$ 与 b 的比值受环境影响较小, 可能与鱼体密度有关。小黄鱼黄海北部-渤海群系雌雄群体从 1960 年到 2004 年以等速生长为主, 与 1960 年相比, 参数 b 在资源严重衰退期和资源恢复初期(1982-1993 年)有所增大; 黄海南部群系雌雄群体从 1960 年到 2010 年以负异速生长为主, 参数 b 在资源严重衰退期和资源恢复初期(1986-1994 年)呈减小趋势, 20 世纪 90 年代后期开始逐渐升高。小黄鱼黄海北部-渤海群系雌雄群体的肥满度从 1960 年到 2004 年总体呈减小趋势; 黄海南部群系雌雄群体 1986 年的肥满度极显著小于对应群体 1960 年的肥满度 ($P<0.01$), 此后略有升高, 但年间差异不显著 ($P>0.05$)。分析认为, 在较好的饵料条件下, 相对较低的捕捞压力是 20 世纪 80-90 年代初期小黄鱼黄海北部-渤海群系雌雄群体呈等速生长的主要原因; 而持续的高捕捞压力引起群体中低龄鱼比例增加、体长生长速度加快是黄海南部群系呈负异速生长的主要原因。个体性成熟年龄减小是小黄鱼肥满度呈下降趋势的主要原因, 但黄海伏季休渔管理和春季南海黄较高的水温, 可能是 20 世纪 90 年代中期开始小黄鱼黄海南部群系各群体肥满度略有升高的原因。

关键词: 小黄鱼; 体长-体质量关系; 肥满度; 年际变化; 影响因子

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)03-0602-09

小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 属石首鱼科, 黄鱼属, 为暖温性底层鱼类, 广泛分布于渤海、黄海和东海海域。按产卵和越冬洄游, 中国近海的小黄鱼可分为黄海北部-渤海、黄海南部和东海 3 个主要的群系^[1]。黄海北部-渤海群系和黄海南部群系的产卵时间从 4 月持续到 5 月底, 主要产卵场分别为渤海沿岸和黄海南部吕泗渔场^[1-3]。在经历 20 世纪 50-60 年代的繁荣和 70-80 年代的严重衰退后^[1-2], 小黄鱼产量从 20 世纪 90 年代开始稳步升高^[3], 到 2008 年全世界小黄鱼的总产量已超过 38 万 t^[4]。但是捕捞对象以补充群体为主, 资源较

为脆弱^[2, 5-6], 对其进行评估和养护显得尤为紧迫。

鱼类的体长-体质量关系为渔业资源评估模型提供了重要参数^[7]。黄真理等^[8]论证了体长-体质量幂函数关系式 ($W=aL^b$) 的意义和合理性。式中 a 为条件因子 (condition factor), 反映种群所处环境的优劣^[9-10]。 b 为异速生长因子 (allometric factor), 反映生长发育的不均匀性, 如 $b<3$, 为负异速增长, 体长的增长快于体质量的增加; 如 $b=3$, 为等速生长, 体长和体质量增加等速; 如 $b>3$, 则为正异速生长, 体质量的增加快于体长的增长^[9, 11]。同时, b 也是 von Bertalanffy 体质量生长方程和种群

收稿日期: 2010-09-20; 修订日期: 2010-12-14.

基金项目: 国家 863 计划项目(2009AA09Z401); 国家自然科学基金资助项目(40906086); 山东省泰山学者专项基金资助项目.

作者简介: 李忠炉(1983-), 男, 博士研究生, 从事生物资源生态学研究. E-mail: mreco.lizhonglu@gmail.com

通信作者: 金显仕, 研究员, 博士生导师. E-mail: jin@ysfri.ac.cn

动态模型的参数^[7]。鱼类的性别、生长发育以及生活环境等都会对 a 和 b 产生影响^[11-12]。肥满度 (relative fatness) 与体长-体质量的关系密切, 是重要的渔业生态学指数, 反映了个体的生理和营养状况^[13-14]。在基于生态系统的渔业管理 (ecosystem-based fishery management) 中, 肥满度有助于确定开捕时间以获得更大产量^[11]。肥满度的概念是建立在个体长度一定时, 生活环境越好则其体质量越大的假设上^[13-14]。Froese^[11]推荐使用相对体质量 (relative weight) 表示肥满度, 该方法用实测体质量与“标准体质量”的比值来反映个体的肥满度, 有效克服比较时因各群体计算标准不同而引起的误差, 可用来进行群体内和群体间的比较。

当前, 体长-体质量关系通常作为渔业资源评估的基本内容, 而肥满度的应用相对较少, 其年际变化未见研究报道。本研究通过分析 1960-2010 年小黄鱼黄海北部-渤海群系和黄海南部群系的种群生物学资料, 对不同资源状态下小黄鱼体长-体质量关系和肥满度的变化及影响因素进行研究, 为小黄鱼资源的评估和渔业管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 基础数据

生物学数据来自各年春季于渤海和黄海南部进行的海上调查, 其中渤海 6 个航次, 分别为 1960 年 4-5 月, 1982 和 1983 年 5 月, 1993 年 6 月以及 2003 和 2004 年 5 月的调查; 黄海南部 8 个航次, 分别为 1960 年 4 月, 1986、1994、1998、2001 年 5 月, 2005 和 2007 年 4-5 月以及 2010 年 5 月的调查。各年于渤海取得的样品代表小黄鱼黄海北部-渤海群系, 共 1 674 尾; 于黄海南部取得的样品代表小黄鱼黄海南部群系, 共 3 755 尾。样品选取的大致范围如图 1 所示。

渤海各年和黄海南部 1960 年取样均使用双船 (约 149.0 kW × 2) 底拖网, 黄海南部 1986 年及其后各年均使用“北斗”号渔业调查船 (1 677.8 kW) 底拖网。1960 年双船底拖网的囊网网目为 4.8 cm, 1982 年后改为 2.0 cm; 1992 年以前“北斗”号渔

业调查船底拖网的网囊网目为 2.0 cm, 以后为 2.4 cm。双船底拖网的平均拖速为 2.6 n mile/h, “北斗”号渔业调查船的平均拖速为 3.0 n mile/h。每站拖网时间为 1 h 左右。

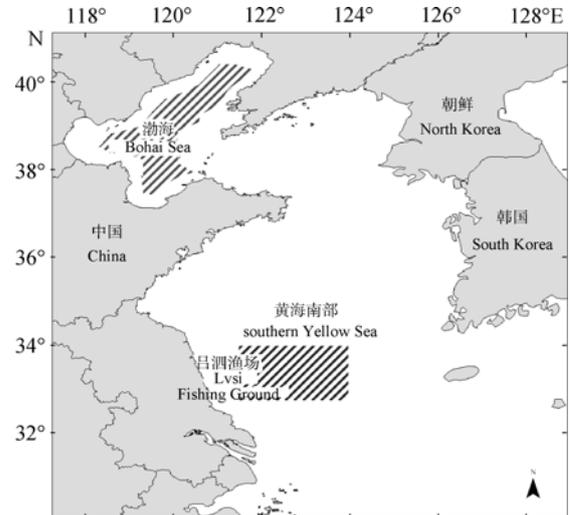


图 1 小黄鱼取样海域示意图(阴影部分)

Fig.1 Sketch map for the sampling areas (hatched area)

1.2 数据处理与分析

小黄鱼生物学数据中体长精确到 1 mm, 体质量精确到 1 g。为便于相对肥满度的计算, 研究中将体长换算后精确到 0.1 cm 使用。为避免体长-体质量关系拟合时中等个体数据量大, 大、小个体数据量少引起的拟合参数失真^[15], 取体长对应的平均体质量用于拟合, 平均体质量精确到 0.1 g。

小黄鱼的性腺成熟度 1960 年时划分为 0-7 级^[16], 从 20 世纪 80 年代开始分为 I-VI 期^[17]。通过比较性腺成熟度划分标准, 调整 1960 年小黄鱼性腺成熟度的记录为: 0 级记为 I 期, 1 级记为 II 期, 2 和 3 级合并记为 III 期, 4 级记为 IV 期, 5 级记为 V 期, 6 和 7 级合并记为 VI 期。规定性腺成熟度 IV-VI 期为性成熟。

小黄鱼体长-体质量关系用幂函数表示:

$$W=aL^b \quad [7]$$

W 为体质量(g), L 为体长(cm), 参数 a 、 b 分别为条件因子和异速生长因子。为便于参数差异分析, 用自然对数转换的体长和平均体质量线性回归拟合 $\ln a$ 和 b :

$$\ln W = \ln a + b \ln L$$

然后计算 a :

$$a = \exp(\ln a)$$

肥满度用相对体质量 (W_{rm}) 的平均值表示, W_{rm} 的计算式为^[11]:

$$W_{rm} = 100 \frac{W}{a_m L^{b_m}}$$

W_{rm} 为相对体质量(%), L 为体长, W 为实测体质量, a_m 为各群体非异常 a 值的几何平均值, b_m 为各群体非异常 b 值的算术平均值。采用 $\lg a$ 与 b 的线性关系检验 a 、 b 异常值, 当点偏离回归直线超过 2 倍标准差即认为该点对应的体长-体质量关系异常^[11, 18]。为排除年龄不同可能对肥满度造成的影响^[11], 选取相同体长组的样品计算相对体质量。

按性别分别拟合体长-体质量关系和计算肥满度。选取平均体长、体长频率分布的偏斜度、性成熟比例作为可能影响体长-体质量关系的因

子进行相关性分析。

1.3 统计分析

平均体长、平均体质量和肥满度的年间和群体间差异使用一维方差分析(One-way ANOVA)检验, 体长频率分布偏斜度使用 Shapiro-Wilk 检验, 体长-体质量关系参数的年间和群体间差异使用协方差分析(ANCOVA)检验, 参数 b 与 3 的差异使用 t 检验。相关分析中各因子符合正态分布则计算 Person 相关系数, 否则计算 Spearman 秩相关系数。数据分析使用 SPSS 16.0。

2 结果与分析

2.1 体长和体质量的分布特征

如表 1 所示, 从 1960 年到 2010 年, 小黄鱼黄海北部-渤海群系和黄海南部群系各群体的体长分布范围和体质量分布范围呈逐渐缩小的趋势, 平均体长和平均体质量逐渐减小, 这主要因为群

表 1 小黄鱼体长和体质量分布特征

Tab. 1 Distribution characteristics of body length and weight of small yellow croaker

群系 stock	年份 year	性别 sex	样本量 sample size	体长/cm body length				体质量/g weight		
				范围 range	平均 mean	变异系数/% CV	偏斜度 skewness	范围 range	平均 mean	变异系数/% CV
黄海北部-渤海群系 northern Yellow Sea-Bohai Sea stock	1960	♀	141	13.5-34.7	21.8	21.7	0.73 ^{rs}	45.0-700.0	210.9	63.7
		♂	123	8.3-30.4	20.0	20.4	1.04 ^{rs}	13.0-538.0	155.7	61.5
	1982	♀	36	11.3-26.1	15.4	25.4	0.53 nd	26.5-289.0	76.2	87.9
		♂	37	10.7-18.4	13.4	15.7	0.88 ^{rs}	20.0-105.0	41.4	56.2
	1983	♀	13	12.2-19.2	14.4	15.0	-0.11 nd	34.0-125.0	55.9	54.7
		♂	15	11.5-27.2	14.6	27.2	0.20 nd	27.0-310.0	62.0	118.2
	1993	♀	44	11.2-23.5	15.9	20.4	0.62 nd	23.2-235.6	73.5	71.5
		♂	53	9.2-20.3	14.8	19.8	0.83 ^{rs}	11.6-138.0	55.0	54.6
	2003	♀	26	11.5-15.3	13.4	8.4	-0.70 nd	23.0-58.0	38.3	27.7
		♂	33	10.6-16.9	13.0	12.2	-0.38 nd	19.0-65.0	33.6	33.6
2004	♀	41	9.9-15.8	12.6	12.8	3.89 ^{rs}	15.0-66.0	35.3	40.2	
	♂	47	9.2-17.0	12.4	16.0	4.07 ^{rs}	13.0-65.0	31.6	44.5	
黄海南部群系 southern Yellow Sea stock	1960	♀	98	15.8-30.2	23.2	14.9	0.81 ^{rs}	64.0-705.0	250.6	49.8
		♂	57	17.0-26.0	21.5	10.0	0.69 ^{rs}	93.0-302.0	169.8	30.0
	1986	♀	13	10.7-14.7	12.2	9.2	-0.12 nd	18.0-52.0	30.7	27.2
		♂	25	9.9-13.5	11.6	9.0	0.82 ^{rs}	17.0-38.0	25.6	22.5
	1994	♀	53	12.3-24.0	17.1	16.0	-0.12 nd	30.0-180.0	77.4	42.2
		♂	20	13.4-17.7	15.3	7.6	0.52 nd	40.0-80.0	57.9	18.9
	1998	♀	32	9.8-19.2	12.3	17.0	0.32 nd	15.0-127.0	35.6	58.3
		♂	31	9.8-15.5	11.9	12.3	0.82 nd	19.0-65.0	31.0	35.8
	2001	♀	56	9.4-18.0	12.6	16.6	0.72 ^{rs}	14.0-105.0	37.0	46.7
		♂	50	9.6-18.0	12.6	15.8	0.90 ^{rs}	16.0-89.0	36.6	46.1
	2005	♀	61	8.8-18.6	12.9	17.1	0.42 ^{rs}	14.0-129.3	41.0	54.1
		♂	53	8.9-15.6	12.0	14.5	0.66 nd	13.2-63.0	31.5	40.5
	2007	♀	46	10.4-16.0	13.2	11.7	0.81 nd	19.0-87.1	41.9	35.3
♂		40	9.6-15.9	12.5	11.7	-0.13 nd	16.0-68.0	34.4	35.4	
2010	♀	72	7.9-18.7	12.2	23.4	1.51 ^{rs}	8.2-140.9	34.4	69.4	
	♂	67	7.7-17.2	12.1	23.1	5.92 ^{rs}	8.2-84.0	32.6	61.6	

注: 样本量为原样本中体长对应平均体质量的数据对; rs 表示右偏分布; nd 表示正态分布。

Note: Sample size is the number of data pairs of body length pairing off with average body weight; rs and nd represent right skewed distribution and normal distribution of body length frequency, respectively.

系中大个体减少所致。其中, 与 20 世纪 80 年代相比, 1993 年黄海北部-渤海群系雌、雄群体的平均体长均有增大, 但变化均不显著($P>0.05$); 1994 年黄海南部群系雌、雄群体平均体长和平均体质量均显著增大($P<0.05$), 这和 20 世纪 90 年代初小黄鱼资源开始恢复相对应。但小黄鱼平均体长和平均体质量在 2003-2004 年 (黄海北部-渤海群系) 或 20 世纪 90 年代末(黄海南部群系)又减小到与 20 世纪 80 年代相似甚至更低的水平。

体长频率分布的偏斜度反应了群体结构, 当群体中有多个年龄组时, 体长频率通常表现为右偏分布。例如 2 个群系 1960 年的样品均为右偏分布, 表明此时小黄鱼群体中有多个年龄组; 黄海北部-渤海群系 2004 年、黄海南部群系 2001 和 2010 年雌雄群体也表现为右偏分布, 表明各群体这些年份的体长分布出现多个高峰。其余年份两群系雌雄群体的体长多为正态分布, 群体组成较简单。

2.2 性成熟比例

雌性小黄鱼样品中, 黄海北部-渤海群系性成熟个体比例为 67.6%~100.0%, 平均为 88.0%; 黄海南部群系性成熟个体比例为 5.9%~88.1%, 平均为 47.1%(图 2)。黄海南部群系雌性样品的性成熟

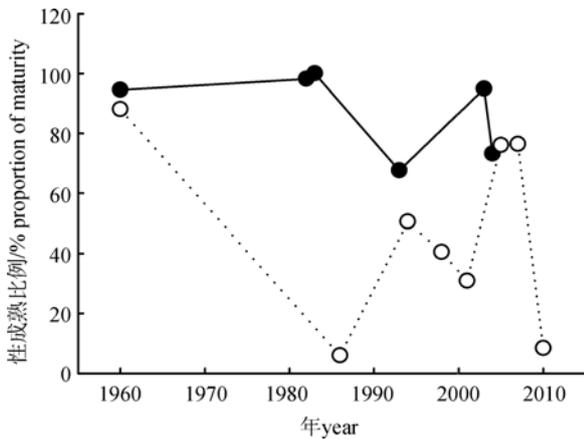


图 2 雌性小黄鱼性成熟比例的变化

实心点和实线代表黄海北部-渤海群系, 空心点和虚线代表黄海南部群系。

Fig. 2 Proportions of sexually mature individuals and their inter-annual changes in female small yellow croaker. Solid dots and lines represent the northern Yellow Sea-Bohai Sea stock and hollow circle and dashed line represent the southern Yellow Sea stock.

比例较黄海北部-渤海群系的低, 且波动较大, 这可能因为黄海南部海洋环境变化较大, 各年取样时雌性群体不完全处于产卵高峰期所致。

2.3 体长-体质量关系参数

小黄鱼黄海北部-渤海群系和黄海南部群系雌、雄群体的体长-体质量关系参数如表 2 所示。由于参数 a 与肥满度表示的内容有相似之处, 2.6 将对肥满度进行分析, 此处主要对参数 b 予以说明。

黄海北部-渤海群系中, 雌性的异速生长因子 b 除 1960 年显著小于 3 外($P<0.05$), 各年均与 3 无显著差异, 群体以等速生长为主; 雌性的异速生长因子在 1960、2003 和 2004 年均极显著小于 3($P<0.01$), 1982、1983 和 1993 年与 3 无显著差异($P>0.05$), 群体在资源衰退期和恢复初期呈等速生长。

黄海南部群系中, 雌性异速生长因子除 1960 年极显著大于 3($P<0.01$)、1986 年和 2007 年与 3 无显著差异外($P>0.05$), 从 1994 到 2005 年以及 2010 年各取样年份均极显著小于 3($P<0.01$), 群体主要呈负异速生长; 雄性异速生长因子除 1960 年和 2007 年与 3 无显著差异外, 各年均显著小于 3($P<0.05$), 群体主要呈负异速生长。

2.4 体长-体质量关系参数异常值检验结果

小黄鱼黄海北部-渤海群系和黄海南部群系各群体的 $\lg a$ 与 b 的线性关系如图 3 所示, 各群体的条件因子 a 和异速生长因子 b 无异常值。因此, $a_m = 0.028, b_m = 2.80$ 。

2.5 体长-体质量关系参数的年际变化

小黄鱼体长-体质量关系参数 a 和 b 的年际变化见图 4。由于 a 和 b 均呈极显著负相关关系($R<-0.95, P<0.01$, 表 4), 为避免重复, 在此主要分析 b 的年际变化。

黄海北部-渤海群系中, 雌性的异速生长因子从 1960 年到 2003 年逐渐增大, 2004 年略减小, 但除 1993 年极显著大于 1960 年($P<0.01$)外, 年间差异不显著($P>0.05$); 雌性的异速生长因子除 2003 年显著小于 1993 年外($P<0.05$), 年间变化不显著($P>0.05$)。黄海南部群系中, 雌性的异速生长因子从 1960 年到 2001 年呈减小趋势, 从 2001 年

表 2 小黄鱼的体长-体质量关系参数

Tab. 2 Parameters of body length-weight relationship for female and male small yellow croaker

群系 stock	年 year	雌性 female				雄性 male			
		$a (\times 10^{-2})$	b	R^2	t	$a (\times 10^{-2})$	b	R^2	t
黄海北部-渤海群系 northern Yellow Sea-Bohai Sea stock	1960	2.22	2.93	0.98	2.18*	2.44	2.89	0.98	2.89**
	1982	1.46	3.06	0.99	1.20 ^{ns}	1.37	3.06	0.97	0.68 ^{ns}
	1983	1.50	3.06	0.97	0.36 ^{ns}	1.69	2.98	0.97	0.15 ^{ns}
	1993	1.11	3.13	0.99	1.91 ^{ns}	1.95	2.91	0.98	1.73 ^{ns}
	2003	0.94	3.19	0.90	0.90 ^{ns}	4.02	2.61	0.97	4.78**
	2004	2.10	2.92	0.90	0.55 ^{ns}	3.07	2.74	0.96	3.16**
黄海南部群系 southern Yellow Sea stock	1960	0.61	3.35	0.97	5.85**	2.47	2.87	0.94	1.27 ^{ns}
	1986	4.35	2.62	0.84	1.11 ^{ns}	6.57	2.43	0.90	3.51**
	1994	5.69	2.52	0.97	7.67**	10.27	2.32	0.84	2.85*
	1998	4.29	2.65	0.95	3.19**	8.13	2.39	0.85	3.19**
	2001	6.14	2.51	0.96	6.96**	4.37	2.63	0.96	4.68**
	2005	2.72	2.83	0.97	2.83**	3.44	2.72	0.98	5.34**
	2007	2.64	2.84	0.92	1.22 ^{ns}	2.54	2.84	0.91	1.09 ^{ns}
	2010	3.13	2.75	0.99	6.35**	3.64	2.68	0.98	6.00**

注: a , b 为体长(cm)-体质量(g)关系参数; R^2 为相关系数; t 为 b 与 3 的差异性 t 检验值($H_0: b=3$); ^{ns} 表示 b 与 3 比较差异不显著($P>0.05$); *表示 b 与 3 比较差异显著($P<0.05$); **表示 b 与 3 比较差异极显著($P<0.01$).

Note: a and b are parameters of body length(cm)-weight (g) relationship; R^2 is correlation coefficient; t is t test for b ($H_0: b=3$); ^{ns} donates no significant difference between b and 3($P>0.05$); * donates significant difference between b and 3($P<0.05$); ** donates extremely significant difference between b and 3($P<0.01$).

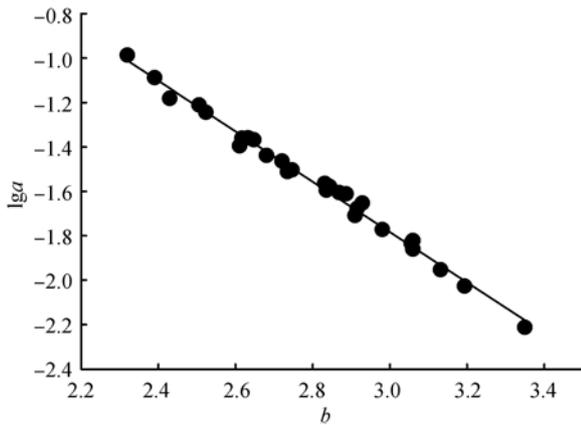


图 3 小黄鱼黄海北部-渤海群系和黄海南部群系 $\lg a$ 与 b 的线性关系

Fig. 3 Negative linear relationship between $\lg a$ and b for small yellow croaker northern Yellow Sea-Bohai stock and southern Yellow Sea stock

到 2010 年呈升高趋势; 雄性异速生长因子的年间变化与雌性相似, 但最小值出现在 1994 年。

雌雄群体间比较显示, 黄海北部-渤海群系除 1993 年和 2003 年雌性的异速生长因子显著大于雄性($P<0.05$)外, 其余年份雌雄间差异不显著($P>0.05$)。黄海南部群系除 1960 年雌性的异速生长因子显著大于雄性外($P<0.05$), 其余年份雌、雄

间差异不显著($P>0.05$, 表 3)。

2.6 肥满度的年际变化

根据表 1, 除 1960 年黄海南部群系的样品取体长组 17.5~18.5 cm 外, 其余年份黄海南部群系和黄海北部-渤海群系均取体长组 12.5~13.5 cm 的样品计算肥满度, 结果如图 5 所示。

黄海北部-渤海群系中, 雌性的肥满度通常高于雄性, 这可能是受怀卵的影响。其中 1982 年和 1993 年雌雄间差异显著($P<0.05$)。年间比较显示, 雌性的肥满度从 1960 年到 2004 年总体呈减小趋势, 其中 1993 年的肥满度显著小于 1982 年($P<0.05$)。雄性的肥满度同样呈减小趋势, 且从 1960 年到 1993 年各年间变化极显著($P<0.01$)。

黄海南部群系中, 雌性肥满度通常高于雄性, 同样可能受怀卵的影响。其中 2005 年雌雄间差异极显著($P<0.01$)。年间比较显示, 雌性的肥满度从 1960 年到 1986 年显著减小($P<0.05$), 从 1986 年到 2010 年略呈增大趋势, 但年间差异不显著。雄性肥满度的变化趋势与雌性相似。

群系间按阶段比较显示, 黄海北部-渤海群系雌、雄群体的肥满度在 1960 年均高于黄海南部

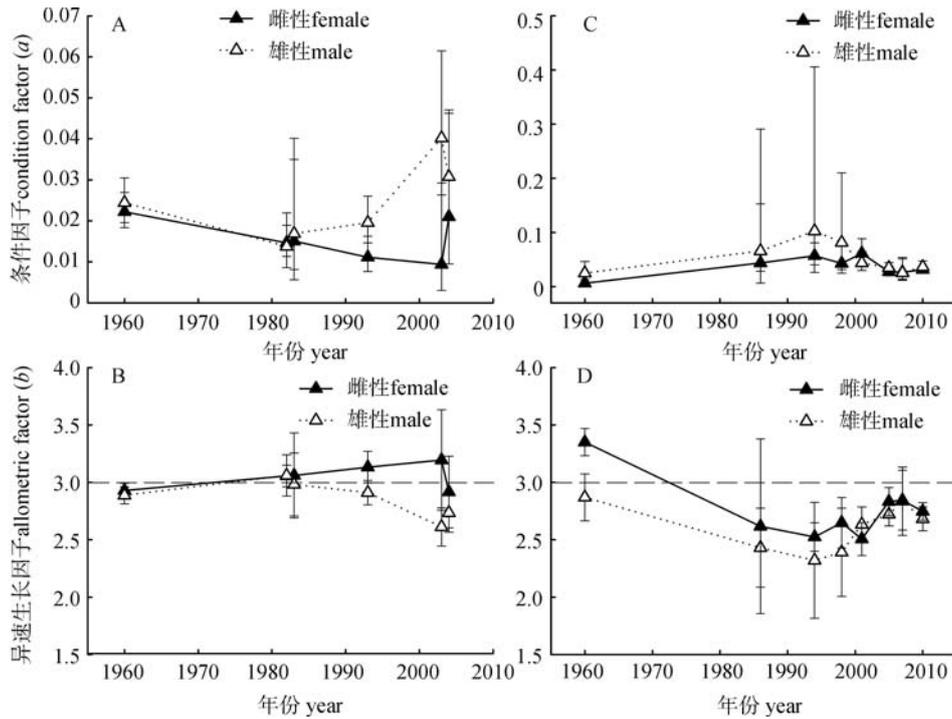


图 4 小黄鱼体长-体质量关系参数 a (A, C)和参数 b (B, D)的年际变化

A、B: 黄海北部-渤海群系; C、D: 黄海南部群系; 误差线代表 95%置信区间。

Fig. 4 Inter-annual changes of condition factor a (A, C)and allometric factor b (B, D) in two socks of small yellow croaker
A and B denote the northern Yellow Sea-Bohai Sea stock, C and D denote the southern Yellow Sea stock.
Bars show 95% confidence interval.

表 3 小黄鱼雌、雄群体间异速生长因子的差异性检验

Tab.3 Comparison of allometric factors of small yellow croaker between sexes

参数 parameter	黄海北部-渤海群系 northern Yellow Sea-Bohai Sea stock						黄海南部群系 southern Yellow sea stock							
	1960	1982	1983	1993	2003	2004	1960	1986	1994	1998	2001	2005	2007	2010
F	0.72 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.12 ^{ns}	6.73*	8.36**	1.17 ^{ns}	14.45**	0.30 ^{ns}	0.78 ^{ns}	1.52 ^{ns}	2.12 ^{ns}	1.78 ^{ns}	0.00 ^{ns}	1.05 ^{ns}

注: ns 表示雌、雄间无显著差异($P>0.05$); *表示雌、雄间差异显著($P<0.05$); **表示雌、雄间差异极显著($P<0.01$).

Note: ns donates no significant difference in allometric factors between sexes ($P>0.05$); * donates significant difference in allometric factors between sexes($P<0.05$); ** donates extremely significant difference in allometric factors between sexes($P<0.01$)

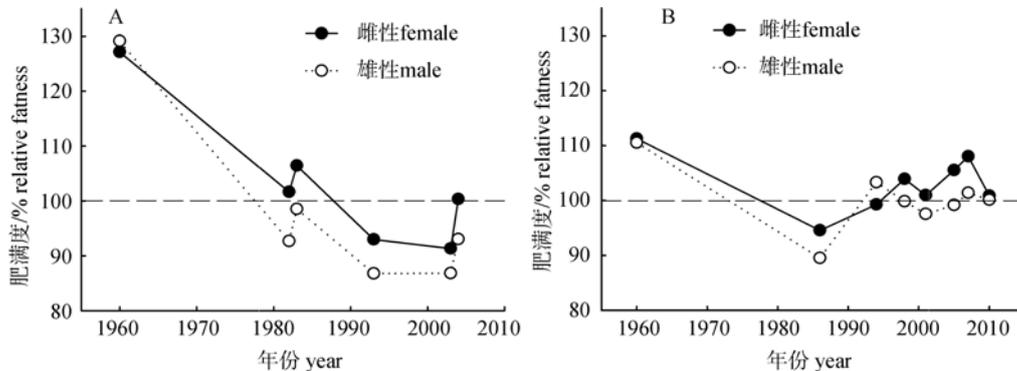


图 5 小黄鱼肥满度的年际变化

A: 黄海北部-渤海群系; B: 黄海南部群系.

Fig. 5 Inter-annual variation in relative fatness of small yellow croaker
A: the northern Yellow Sea-Bohai Sea stock; B: the southern Yellow Sea stock.

群系相应群体,但从 20 世纪 90 年代初开始,均低于黄海南部群系相应群体,其中雄性群体间差异显著($P<0.05$)。

2.7 相关性分析

小黄鱼体长-体质量关系参数与潜在影响因子间的关系如表 4 所示。如前所述,体长-体质量关系参数 a 和 b 呈极显著负相关关系($P<0.01$),因而其他参数如果与 a 和 b 的其中一个呈现某种相关关系,必然与另一个参数呈现相反的相关关系,故在此只叙述参数 b 与其他因子的关系。黄海北部-渤海群系中,雌性的异速生长因子与体长频率分布偏斜度的负相关系数较高,表明体长右偏分布越明显, b 值越小。黄海南部群系中,雌性的异速生长因子与平均体长呈显著正相关关系($P<0.05$),与性成熟比例的正相关系数较高,表明较大的平均体长和较高的性成熟比例都会使参数 b 增大。

3 讨论

3.1 条件因子和异速生长因子的关系

Stergiou 等^[18]发现尽管研究区域不同,但同一种鱼的体长-体质量关系参数 a 的对数与 b 呈显

著负线性关系。本研究中,渤海和黄海南部的小黄鱼体长-体质量关系参数同样符合负线性相关关系。此外, $\lg a$ 与 b 的年际变化亦呈现显著负线性变化关系,当 b 减小时, $\lg a$ 即按一定线性关系增大(图 4)。因此,同一种鱼 $\lg a$ 与 b 的比值可能为一常数。根据分形理论^[8],笔者推测该比值可能与鱼体的密度相关,时间和地点的变化对其影响较小。但该比值的意义和应用需要进一步的研究。

3.2 异速生长因子的影响因子

从 1960 年到 2010 年,小黄鱼的体长范围和体质量范围不断缩小,平均体长和平均体质量呈减小趋势(表 1),个体小型化明显,主要原因是过度捕捞和群体遭受的持续大捕捞压力^[2, 6, 19-20]。群体中较小个体所占比例的增大,导致异速生长因子倾向于表现低龄阶段的生长^[21],这可能是小黄鱼平均体长越小、体长频率右偏分布越严重则 b 越小的内在原因。

同时,持续高强度的捕捞使黄、渤海生态系统食物网结构发生变化,小黄鱼饵料环境改善^[18, 22]。因此,在相对较低的捕捞压力下,小黄鱼黄海北部-渤海群系个体的体质量生长速度提高,表现为 20 世纪 80 和 90 年代该群系异速生长因子升高,

表 4 小黄鱼体长-体质量关系参数的影响因子分析

Tab. 4 Correlations between parameters of weight-length relationship and potential impact factors for small yellow croaker

群系 stock	性别 sex		异速生长因子 b allometric factor b	平均体长 mean body length	偏斜度 skewness	雌性性成熟比例 proportion of maturity in female
黄海北部-渤海群系 northern Yellow Sea-Bohai Sea stock	雌 female	条件因子 a condition factor	-0.99**	0.45	0.66	-0.01
		异速生长因子 b allometric factor	—	-0.36	-0.74	0.09
	雄 male	条件因子 a condition factor	-0.99**	-0.20	0.08	—
		异速生长因子 b allometric factor	—	0.26	-0.13	—
黄海南部群系 southern Yellow Sea stock	雌 female	条件因子 a condition factor	-0.95**	-0.51	-0.44	-0.58
		异速生长因子 b allometric factor	—	0.73*	0.38	0.66
	雄 male	条件因子 a condition factor	-0.97**	-0.18	-0.17	—
		异速生长因子 b allometric factor	—	0.37	0.07	—

注:表中数值表示参数间相关系数;*表示平均体长与参数 b 具有显著相关性($P<0.05$);**表示参数 a 与参数 b 具有极显著相关性($P<0.01$)。

Note: values in the table are correlation coefficients; * denotes significant correlation between mean body length and b ($P<0.05$); ** denotes extremely significant correlations between parameters b and a ($P<0.01$).

体长、体质量以等速生长为主; 而黄海南部群系从20世纪80年代到2010年所遭受的捕捞压力较大^[3, 23], 导致体长比体质量生长更快, 因为大捕捞压力下更多的能量被用来增加体长和促进性腺发育^[9, 24], 这可能是该群系呈负异速生长的主要原因。另外, 雌鱼的体长-体质量关系参数受怀卵的影响较大(表4), 可能是小黄鱼黄海北部-渤海群系雌鱼异速生长因子维持在较高值的原因之一。

值得一提的是, 由于受性成熟的影响较小, 雄鱼的异速生长因子通常更能反映群体的生长状态。小黄鱼黄海北部-渤海群系雄鱼等速生长期与1982-1983年渤海小黄鱼资源有所回升^[25]、1993年资源恢复初期相对应, 从另一面验证了捕捞压力与异速生长因子的关系; 而该群系2003-2004年异速生长因子的减小可能意味着群体遭受的捕捞压力增大。黄海南部群系雄鱼的异速生长因子从20世纪90年代中期开始增大, 可能与当时开始的黄海伏季休渔管理有关, 表明该群系遭受的捕捞压力开始缓解。

3.3 肥满度的影响因子

由于样品个体较大, 小黄鱼黄海南部群系1960年计算肥满度采用的体长组较大。但由于肥满度以比值表示且1960年小黄鱼性成熟年龄为2龄以上, 因此该年小黄鱼的肥满度和其余年份的比较依然具有参考价值。从1960年到20世纪80年代中期, 小黄鱼2个群系均遭受过度捕捞, 导致个体生长速度升高^[19-20], 性成熟年龄提前到1龄左右^[1-2], 这可能是2个群系肥满度均显著下降的主要原因。同时, 20世纪90年代中期开始的伏季休渔管理, 使小黄鱼黄海南部群系遭受的捕捞压力得到缓解, 可能是此时该群系雌雄群体肥满度略有升高的原因; 而南黄海较高的水温可能对小黄鱼黄海南部群系各群体肥满度的升高也产生了影响, 因为相对较高的水温可促进鱼类摄食强度的增大^[26]。

综上所述, 小黄鱼异速生长因子的年际变化可能与过度捕捞引起的群体组成变化以及持续的大捕捞压力有关, 当捕捞压力增大或减小时, 异速生长因子表现为减小或增大。肥满度的变化亦

与捕捞压力有关, 大的捕捞压力使个体生长加快, 性成熟年龄提前, 导致肥满度降低, 而较高的海水温度可以促进小黄鱼肥满度的升高。

致谢: 两位匿名审稿人对本文提出了宝贵修改意见, 在此表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 金显仕. 黄海小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)生态和种群动态的研究[J]. 中国水产科学, 1996, 3(1): 32-46.
- [3] 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.
- [4] FAO. FIGIS - Web Site. Fisheries global information system (FIGIS) [R/OL]. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Rome, 2010. (2010-07-13)[2010-08-11]. <http://www.fao.org/fishery/figis/en>
- [5] 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.
- [6] 林龙山. 东海区小黄鱼现存资源量分析[J]. 海洋渔业, 2004, 26(1): 18-23.
- [7] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [8] 黄真理, 常剑波. 鱼类体长与体重关系中的分形特征[J]. 水生生物学报, 1999, 23(4): 330-336.
- [9] Pitcher T J, Hart P J B. Fisheries ecology [M]. Manuka: Croom Helm, 1982.
- [10] 林学群. 粤东近海雄性条尾鲱鲤体长与体重关系研究[J]. 汕头大学学报:自然科学版, 1999, 14(2): 64-71, 80.
- [11] Froese R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations [J]. J Appl Ichthyol, 2006, 22(4): 241-253.
- [12] Stergiou K I, Fourtouni H. Food habits, ontogenetic diet shift and selectivity in *Zeus faber* Linnaeus, 1758 [J]. J Fish Biol, 1991, 39(4): 589-603.
- [13] Bolger T, Connolly P L. The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition [J]. J Fish Biol, 1989, 34: 171-182.
- [14] 戴强, 戴建洪, 李成, 等. 关于肥满度指数的讨论[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(5): 715-718.
- [15] Ricker W E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations[J]. Bull Fish Res Board Can, 1975, 191: 382.
- [16] 中华人民共和国水产部黄海水产研究所. 小黄鱼的性腺研究[J]. 黄海水产研究所丛刊, 1960(1): 1-28
- [17] 黄海水产研究所. 海洋水产资源调查手册[M]. 第2版. 上

- 海: 上海科学技术出版社, 1981: 38-39.
- [18] Stergiou K I, Moutopoulos D K. A review of length-weight relationships of fishes from Greek marine waters [J]. *Naga*, 2001, 24(1/2): 23-39.
- [19] 郭旭鹏, 金显仕, 戴芳群. 渤海小黄鱼生长特征的变化[J]. *中国水产科学*, 2006, 13(2): 243-249.
- [20] 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.
- [21] 王雪辉, 杜飞雁, 邱永松. 南海北部主要经济鱼类体长与体重关系[J]. *台湾海峡*, 2006, 25(2): 262-266.
- [22] 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.
- [23] 徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 秋季黄海底层鱼类群落结构的变化[J]. *中国水产科学*, 2003, 10(2): 148-154.
- [24] Trippel E A. Age at maturity as a stress indicator in fisheries[J]. *Bioscience*, 1995, 45(11): 759-771.
- [25] 杨纪明, 杨伟祥, 王新成, 等. 渤海底层的鱼类生物量估计[J]. *海洋学报*, 1990, 12(3): 359-365.
- [26] 郭学武, 张波, 孙耀, 等. 真鲷幼鱼的摄食与生态转换效率——一种现场研究方法在室内的应用[J]. *海洋水产研究*, 1999, 20(2): 26-31.

Inter-annual changes on body weight-length relationship and relative fatness of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*)

LI Zhonglu^{1,2,3}, JIN Xianshi², SHAN Xiujuan², DAI Fangqun²

1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Based on data from 14 bottom trawl surveys in the Bohai Sea and the southern Yellow Sea during spring (from April to May) of 1960–2004 and spring of 1960–2010, inter-annual changes on body weight-length relationship (*WLR*) and relative fatness of two geographical stocks of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* [the northern Yellow Sea-Bohai Sea stock (NYBS) and the southern Yellow Sea stock (SYS)] and their impact factors were analyzed. *WLR* was linearly regressed by logarithm-transformed body length and its corresponding mean body weight; relative fatness was computed by relative weight by years, sex and stocks. The results showed that the allometric factor (*b*) was not significantly different between sexes in most years, and significantly negative correlations ($P < 0.01$) were found between the condition factor (*a*) and *b* in two stocks. The $(lga)/b$ ratio may be connected with fish body density, and its value was little influenced by environment. The *b* values almost approached 3, which indicated isometric growth in the NYBS stock in most surveys from 1960 to 2004, and they increased during the regression stage and the early recovery stage of the stock (1982–1993). However, most of *b* values were significantly smaller than 3 ($P < 0.05$), indicating strongly negative-allometric growth in the SYS stock from 1960 to 2010, and they decreased during the regression stage and the early recovery stage of the stock (1986–1994), then increased since the late 1990s. The highest relative fatness of small yellow croaker was found in 1960 in the two stocks. The fatness clearly decreased in total from 1960 to 2004 in both male and female fish in the NYBS stock, and it significantly declined from 1960 to 1986 in the SYS stock ($P < 0.05$), then slightly and insignificantly increased since the mid-1990s in both male and female fish in the SYS stock ($P > 0.05$). According to analysis, based on better food conditions, the relative low fishing pressure was the main reason for the isometric growth of the NYBS during the 1980s and the early 1990s; and the continually heavy fishery increased the proportion of low age fish and the growth speed in the SYS, which may be the main reasons for the negative-allometric growth of the stock. The decrease in age at maturity may be the reason of the decline in the relative fatness in both stocks, but the closed seasons and the relative higher water temperature in the southern Yellow Sea made the relative fatness increase since the mid-1990s in the SYS.

Key words: *Larimichthys polyactis*; body weight-length relationship; relative fatness; inter-annual change; impact factor

Corresponding author: JIN Xianshi. E-mail: jin@ysfri.ac.cn