

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2013.04.016

· 研究简报 ·

## FiSAT II 软件支持下的体长股分析法探讨

吴 斌, 方春林, 贺 刚, 傅培峰

(江西省水产科学研究所, 农业部湖泊渔业资源环境科学观测实验站, 江西 南昌 330039)

**摘要:** 文章重点介绍了运用 FiSAT II 软件以迭代法求解捕捞死亡系数的具体过程, 同时比较了传统与 FiSAT II 下的体长股分析法的结果。结果发现, 2 种方法计算的资源量比值 ( $N_F/N_T$ ) 总体表现为随体长增加而增大, 但对于中间体长组, 两者差异更小。FiSAT II 软件中的实际种群分析模块是推算捕捞死亡系数 ( $F$ ) 的好方法。理论上来说, 因其利用了反复迭代, 使精度提高, 其所得鱼类资源量更加真实准确。通过自我控制体长组缺失实验发现, 在运用体长股法估算鱼类资源量时, 最小体长组的缺失引起最大偏离, 达到 10% 以上。

**关键词:** FiSAT II 软件; 实际种群分析; 体长股分析; 体长结构

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2013)04-0094-05

## FiSAT II Software supported Length based Cohort Analysis

WU Bin, FANG Chunlin, HE Gang, FU Peifeng

(*Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in Poyang Lake, Ministry of Agriculture; Fisheries Research Institute of Jiangxi Province, Nanchang 330039, China*)

**Abstract:** We introduced the application of FiSAT II software in the specific process of using iteration method to estimate fishing death coefficient, and compared the results from traditional Length based Cohort Analysis (LCA) with the data from FiSAT II software supported LCA. It is not difficult to find that  $N_F/N_T$  ratio of the two methods increases with increasing body length, while the difference between the two methods for intermediate group of the body length is smaller. The Virtual Population Analysis module of FiSAT II software is a good method for extrapolating to fishing mortality coefficient ( $F$ ). In this method, theoretically, precision is improved by using iteration, thus the estimation of fish stock becomes more accurate. Self-control group of body length deletion experiments show that in the use of LCA for fish stock estimation, the loss of minimum body length group data causes the maximum deviation, reaching more than 10%.

**Key words:** FiSAT II software; Virtual Population Analysis; Length based Cohort Analysis; body length structure

准确高效评估鱼类资源量是渔业保护和科学增殖的基础工作之一<sup>[1]</sup>。渔业资源调查一般可分为管理性调查和开发性调查两类。前者是针对已开发的渔场, 旨在合理利用资源以取得最大持续产量; 后者是针对未开发的水域, 旨在探明新的捕捞对象和相应的开发手段。目前渔业资源调查的主要对象是前者<sup>[2-8]</sup>。体长结构的世代分析也可称为

体长股分析(Length based Cohort Analysis, LCA), 是鱼类资源量评估高效易行的方法之一<sup>[9-12]</sup>。该方法是 JONES<sup>[9-11]</sup>提出来的, 所以又可称为 JONES 的体长世代分析。JONES 的 LCA 是在 POPE 的年龄结构世代分析模型基础上的发展, 即考察资源数量变动时, 以体长来代替年龄, 从而有效地利用渔获体长测定的数据资料<sup>[13-15]</sup>。

收稿日期: 2012-11-26; 修回日期: 2013-01-23

资助项目: 鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室开放基金(PK2012003)

作者简介: 吴 斌(1984-), 男, 硕士, 实习研究员, 从事环境影响评价和渔业资源评估研究。E-mail: wubinix@163.com

通信作者: 方春林(1960-), 男, 副研究员, 从事鱼类种质资源研究。E-mail: chunlinf@163.com

目前,国内已有许多科研人员在淡水水体中采用了体长股分析法<sup>[3,6-8]</sup>。传统的体长股通过人工计算效率相对较低,且不能保证精度。吴金明等<sup>[3]</sup>首次在国内淡水水体中使用了专业渔业资源评估软件 FiSAT II,其主要运用了实际种群分析(Virtual Population Analysis, VPA)模块,估算了赤水河3种鱼的资源量。但迄今为止,国内尚无关于体长股法与 FiSAT II 关系的专门报道。笔者结合工作实践,对 FiSAT II 下的体长股分析方法进行了探讨,以期对体长股法在河流鱼类资源评估中的高效广泛应用提供基础资料。

## 1 体长股分析法分组组距的选取原则

中华人民共和国国家标准《海洋调查规范——海洋生物调查》规定“鱼类长度分组的组距一般为10 mm,如10~20 mm、…100~110 mm。中值为15 mm、…105 mm。对鱼体长度过长或过短的种类也可将组距定为20 mm或5 mm”<sup>[16]</sup>。陈国宝等<sup>[17]</sup>通过比较研究指出,应当结合体长全距、体长标准差和样品数量等影响因素来共同确定某种鱼类的体长分组组距,从而提高估算结果的可信度。

## 2 FiSAT II 下的体长股分析法的主要优势

### 2.1 生长方程中相关生长参数的推算

体长股分析法要求推算 Von Bertalanffy 生长方程中的渐近体长( $L_{\infty}$ )和生长系数( $k$ )。FiSAT II 软件提供了3种方式推算 Von Bertalanffy 生长方程,包括 ELEFAN I 法、Shepherd 氏法和 Powell-Wetherall 图解法<sup>[18]</sup>。这些方法中有多种不同的选择,以尝试错误的方式对生长方程中的参数进行求解<sup>[19]</sup>。但是在实际运用体长股法估算鱼类资源量时,人们一般习惯引用前人已有研究成果,当与前人的结果有差异时通常取其平均值<sup>[3,8]</sup>。这样在满足研究要求的同时,又提高了工作效率。

### 2.2 死亡系数的估算

死亡系数可分为总死亡系数( $Z$ )、捕捞死亡系数( $F$ )及自然死亡系数( $M$ ),三者之间的关系为  $Z = F + M$ <sup>[20-21]</sup>。在推算得到生长方程中的  $L_{\infty}$  和  $k$  的基础上,FiSAT II 软件提供了4种方式,以连续样本的体长频度分布为基本数据,估算总死亡系数,分别为体长变换渔获曲线法、JONSE 和 Van ZALINGE 图解法、平均体长法、HOENING 模型法<sup>[18]</sup>。其中常用的是以体长变换渔获曲线的方法通过回归来实现相应的估算<sup>[21]</sup>。

由于补充、捕捞死亡率、生长等参数的影响,鱼类的  $M$  值成为最难估算的参数之一<sup>[22]</sup>。FiSAT II 软件采用以下2个公式估算  $M$  值。RIKHTER 和 EFANOV (1976) 认为  $M$  值和种群成熟度达50%时的年龄  $t(\text{mass})$  之间有很紧密的关系,经研究得出其关系为  $M = 1.52/[t(\text{mass})^{0.72}] - 0.16$ ,此即 RIKHTER 和 EFANOV 公式法<sup>[18]</sup>。另外软件中还提供了 Pauly 的经验公式法,即  $\lg M = -0.0066 - 0.279 \lg L_{\infty} +$

$0.654 \lg k + 0.463 \lg T$ , 公式中  $T$  为鱼类生活水体年平均水温<sup>[23]</sup>。

在体长股研究中,除了  $F$ 、 $Z$  和  $M$  之外,通常还使用开发率( $E$ )的概念,所谓开发率是指捕捞死亡占总死亡的比例:  $E = F/Z$ 。传统的体长股法,各体长组的  $F$  值是根据最大体长组的开发率估算的(最大体长组  $E$  一般取0.5),即首先根据最大体长组资源量  $N = \text{渔获尾数} C/E$ , 求出最大体长组  $N$ ,再推算各体长组  $N$ ,最后依据  $E = C_L/(N_L + N_{L+\Delta L})$ ,先求出各体长组  $E$ ,再结合  $E$ 、 $M$  和  $F$  三者关系求出  $F$ <sup>[21]</sup>。这里常见的错误是依据  $N = C/E$  反推各体长组  $E$ ,进而求取各体长组的  $F$ 。传统方法求取  $F$  时直接使用最大体长组  $E$  的估算值,不存在迭代过程,其准确性依赖于  $E$  的估算<sup>[20]</sup>。现在一般是通过 FiSAT II 软件求取捕捞死亡系数,具体操作如下:1) 分别将特定对象按照体长分组录入 VPA 模型中,并输入  $L_{\infty}$ 、 $k$  和  $M$ ,最大体长组的  $F$  初始值一般取0.5,如果需要估算生物量,还需要输入体长与体质量关系式中的2个参数,即条件系数  $a$  和指数系数  $b$ 。2) 通过 FiSAT II 软件运行,得出各体长组的捕捞死亡系数  $F_i$  和各体长组的资源量  $N_i$ ,计算总体的捕捞死亡系数  $F$  [公式为  $\Sigma(F_i \times N_i)/\Sigma N_i$ ],再以总体的捕捞死亡系数  $F$  作为最大体长组的捕捞死亡系数,放入软件中运算,如此反复3~4次,计算出的总体捕捞死亡系数  $F$  与前一次相差甚微,表明迭代运算可以结束<sup>[3]</sup>。

## 3 结果与讨论

### 3.1 传统与 FiSAT II 下的体长股法

施秀帖<sup>[24]</sup>根据南海北部连续4年各围网渔汛的渔获统计资料,在国内首次利用 LCA 法分别对各渔汛主要鱼种的资源量进行了估算。现以其中的粤东春汛鲈鱼的基本数据为基础,即  $L_{\infty}(\text{mm}) = 380$ ,  $k = 0.30$ ,  $M = 0.49$ ,  $E = 0.5$ 。分别采用传统 LCA 在计算机辅助下重新进行了计算,同时运行 FiSAT II,估算其  $N$  和  $F$ ,分别记为传统法下  $N_T$  和  $F_T$  以及 FiSAT II 下  $N_F$  和  $F_F$ ,结果见表1。体长股法估算  $F$  和 VPA 估算的  $F$  值存在较大差异,理论上后者利用了反复迭代,使得其精度得到提高。同时,对传统与 FiSAT II 下各体长组  $N$  的结果进行比较,发现  $N_F/N_T$  比值总体趋势表现为随体长组增大,其比值也随之增大,但中间体长组两者差异更小。一般认为体长股法的优点在于随着体长组的逆推,其与真实值的差异会逐渐缩小<sup>[21]</sup>,而通过上述比较,表明中间体长组  $N$  的稳定性更好,小体长组和大体长组  $N$  波动较大。因此,在运用 FiSAT II 软件进行体长股的相关研究时应当采取审慎的态度,严格保证其数据要求,FiSAT II 中的体长及尾数等数据应当是研究对象的完整样本,不应把全年个别时间段的数据随意合并。样本中的鱼体最大体长与  $L_{\infty}$  不能差距太大。据 POPE 的研究结论,在一个时间段内, $M$  值大于0.3、 $F$  值大于1.2时使用传统股分析法估算的资源量结果与 VPA 会产生较大的差异。

表1 传统与 FiSAT II 下的体长股法结果比较

Tab. 1 Comparison of traditional LCA results with FiSAT II software supported LCA data

体长组 <sup>[24]</sup> body length group	$C_L/10^5$ 尾	$N_T/10^5$ 尾	$F_T$	$N_F/10^5$ 尾	$F_F$	$N_F/N_T$	
1	91 ~ 100	0.063	849.52	0.001	1 074.56	0.001	1.26
2	101 ~ 110	0.803	806.68	0.009	1 014.54	0.007	1.26
3	111 ~ 120	4.034	763.83	0.048	955.14	0.035	1.25
4	121 ~ 130	9.08	718.61	0.111	894.03	0.081	1.24
5	131 ~ 140	5.37	669.45	0.068	829.66	0.049	1.24
6	141 ~ 150	5.72	625.17	0.074	770.84	0.054	1.23
7	151 ~ 160	5.51	581.64	0.074	713.45	0.054	1.23
8	161 ~ 170	5.66	539.44	0.078	658.07	0.058	1.22
9	171 ~ 180	3.59	498.23	0.051	604.36	0.038	1.21
10	181 ~ 190	2.79	460.21	0.041	554.51	0.031	1.20
11	191 ~ 200	1.25	424.01	0.019	507.16	0.014	1.20
12	201 ~ 210	1.48	390.33	0.023	462.99	0.018	1.19
13	211 ~ 220	5.13	357.37	0.083	420.20	0.064	1.18
14	221 ~ 230	7.71	321.91	0.131	375.59	0.101	1.17
15	231 ~ 240	16.88	285.33	0.309	330.59	0.240	1.16
16	241 ~ 250	29.80	241.68	0.623	279.31	0.484	1.16
17	251 ~ 260	28.92	188.44	0.733	219.36	0.565	1.16
18	261 ~ 270	22.09	140.18	0.697	165.36	0.530	1.18
19	271 ~ 280	12.84	102.57	0.500	122.85	0.375	1.20
20	281 ~ 290	10.50	77.13	0.498	93.22	0.370	1.21
21	291 ~ 300	8.89	56.30	0.528	68.81	0.387	1.22
22	301 ~ 310	7.27	39.15	0.562	48.66	0.405	1.24
23	311 ~ 320	7.14	25.55	0.787	32.59	0.547	1.28
24	321 ~ 330	4.84	13.96	0.880	19.05	0.562	1.36
25	331 ~ 340	2.20	6.43	0.730	9.99	0.402	1.55
26	341 ~ 350	0.80	2.75	0.487	5.11	0.223	1.86
27	351 ~ 360	0.44	1.15	0.531	2.55	0.193	2.22
28	361 ~ 370	0.15	0.30	0.490	0.99	0.087	3.30
Σ	210.95	9 187.34		11 233.55			

在国内外,尤其是日本在资源评估的实践中,VPA以及各种基于传统VPA的改进型已逐步成为资源评估的主流。

### 3.2 自我控制体长组缺失试验

通过自我控制体长组缺失实验,即分别选择缺失体长组1、7、14、21和28,对其 $N$ 进行了估算,结果见表2。通过比较发现,在运用体长股法估算鱼类资源量时,最小体长组缺失引起最大偏离,达到10.24%,表明运用体长股法估算鱼类资源量时,小体长组的数据准确性和完整性尤为重要,这与体长股法采取从最大体长组逐级逆推,不断

接近真实值是相吻合的<sup>[21]</sup>。但是笔者注意到,中间体长组缺失,即 $N_{14}$ 和 $N_{21}$ 缺失,分别产生了2.04%和6.79%的偏离,高于最大体长组的缺失时产生的偏离(1.69%),与上述研究结果,即中间体长组 $N$ 的稳定性更好存在一定的相似性,其内在规律有待深入研究。此外,笔者还发现,体长组缺失产生偏离的大小与其 $C_L$ 大小没有明显关系, $C_1$ 、 $C_7$ 和 $C_{14}$ 分别为0.063、5.51和7.71,但其缺失产生的偏离分别为10.24%、0.18%和2.04%,显示出体长组缺失带来的资源量估算偏离大小与体长组别可能存在一定关系。

表2 体长组缺失时  $N$  估算结果比较

Tab. 2 Resources estimation results of different groups in the loss of body length

体长组 <sup>[24]</sup> body length group	$N_1/10^5$ 尾	$N_7/10^5$ 尾	$N_{14}/10^5$ 尾	$N_{21}/10^5$ 尾	$N_{28}/10^5$ 尾	$N/10^5$ 尾	
1	91 ~ 100	-	1 068.72	1 050.70	1 005.77	1 091.17	1 074.56
2	101 ~ 110	1 007.69	1 009.02	992.01	949.59	1 030.22	1 014.54
3	111 ~ 120	948.69	949.95	933.92	893.95	969.92	955.14
4	121 ~ 130	887.96	889.15	874.08	836.50	907.92	894.03
5	131 ~ 140	823.97	825.08	810.95	775.70	842.69	829.66
6	141 ~ 150	765.52	766.56	753.34	720.38	783.03	770.84
7	151 ~ 160	708.49	709.46	697.13	666.38	724.82	713.45
8	161 ~ 170	653.45	659.66	642.89	614.30	668.64	658.07
9	171 ~ 180	600.09	605.84	590.30	563.80	614.16	604.36
10	181 ~ 190	550.56	555.88	541.53	517.07	563.55	554.51
11	191 ~ 200	503.53	508.42	495.23	472.74	515.48	507.16
12	201 ~ 210	459.67	464.14	452.06	431.48	470.60	462.99
13	211 ~ 220	417.17	421.25	410.25	391.50	427.13	420.20
14	221 ~ 230	372.85	376.54	366.58	349.61	381.86	375.59
15	231 ~ 240	328.12	331.44	329.79	307.22	336.23	330.59
16	241 ~ 250	277.11	280.07	278.60	258.43	284.35	279.31
17	251 ~ 260	217.41	220.04	218.73	200.88	223.83	219.36
18	261 ~ 270	163.65	165.95	164.81	149.15	169.27	165.36
19	271 ~ 280	121.37	123.36	122.37	108.80	126.24	122.85
20	281 ~ 290	91.95	93.66	92.81	81.21	96.12	93.22
21	291 ~ 300	67.74	69.18	68.46	58.71	71.25	68.81
22	301 ~ 310	47.79	48.97	48.38	48.38	50.67	48.66
23	311 ~ 320	31.89	32.83	32.36	32.36	34.20	32.59
24	321 ~ 330	18.51	19.24	18.88	18.88	20.30	19.05
25	331 ~ 340	9.59	10.13	9.86	9.86	10.91	9.99
26	341 ~ 350	4.83	5.21	5.02	5.02	5.75	5.11
27	351 ~ 360	2.38	2.61	2.50	2.50	2.95	2.55
28	361 ~ 370	0.91	1.03	0.97	0.97	-	0.99
$\Sigma$	10 082.89	11 213.38	11 004.51	10 471.13	11 423.25	11 233.55	
偏离/% deviation	10.24	0.18	2.04	6.79	1.69	-	

值得特别注意的是, VPA 是一种很好的推算  $F$  和同一年级群进入补充时数量的方法, 但人们往往以为可以直接用来推算多年级群群量。对于鱼群有世代重迭时, 必须用年龄结构区分为独立年级群, 进行个别推算, 或者使用所谓年级群的分析工具, 但类似工具还很不成熟。而且这样推算出来的仅是该年鱼群的生物量而不是平衡鱼群量持续产量的长期估值<sup>[18]</sup>。

致谢: 台湾省方新畴教授对文章给予悉心指导, 谨此致谢!

#### 参考文献:

- [1] 王靖, 张超, 王丹, 等. 清河水库鲢鳙鱼类资源声学评估——回波计数与回波积分法的比较[J]. 南方水产, 2010, 6 (5): 50-55.

- [2] 牟洪民, 姚俊杰, 倪朝辉, 等. 红枫湖鱼类资源及空间分布的水声学调查研究[J]. 南方水产科学, 2012, 8(4): 62-69.
- [3] 吴金明, 娄必云, 赵海涛, 等. 赤水河鱼类资源量的初步估算[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(3): 99-103.
- [4] 刘晓锋, 李科社, 高宏伟, 等. 黄河干流宁蒙段渔业资源调查及保护对策[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(4): 135-141.
- [5] 谭细畅, 史健全, 张宏, 等. EY60 回声仪在青海湖鱼类资源评估中的应用[J]. 湖泊科学, 2009, 21(6): 865-872.
- [6] 段中华, 孙建贻, 常剑波, 等. 网湖鲫鱼的生长与资源评估[J]. 湖泊科学, 1994, 6(3): 257-266.
- [7] 张松. 长江上游合江江段渔业现状评估及长鳍吻鲈的资源评估[D]. 武汉: 华中农业大学, 2003.
- [8] 虞功亮, 刘军, 许蕴珩, 等. 葛洲坝下游江段中华鲟产卵场食卵鱼类资源量估算[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 591-599.
- [9] JONES R. Assessing the long-term effects of changes in fishing effort and mesh size from length composition data[J]. ICESCN, 1974, 33: 1-13.
- [10] JONES R. Analysis of a *Nephtrops* stock using length composition data. Rapp. P. v. Réun[J]. J Cons Int Explor Mer, 1979, 175: 259-269.
- [11] JONES R. The use of length composition data in fish stock assessment (with notes on VPA and Cohort analysis) [R]. Rome: FAO Fish Circ, 1981(734): 1-60.
- [12] JONES R. Assessing the effects of changes in exploitation pattern using length composition data [R]. Rome: FAO Fish Tech Pap, 1984: 1-256.
- [13] POPE J G. An investigation of the accuracy of virtual population analysis[J]. Int Comm Northwest Atl Fish Res Bull, 1972 (9): 65-74.
- [14] POPE J G. SHEPHERD J G. A simple method for the consistent interpretation of catch-at-age data[J]. J Cons Int Explor Mer, 1982, 40: 176-184.
- [15] POPE J G, YANG J M. Phalanx analysis: An extension of Jones' length-cohort analysis to multispecies cohort analysis [C] // PAULY D, MORGAN G R. Length-based methods in fisheries research. ICLARM Conference Proceedings. Manila, Philippines, Kuwait Institute for Scientific Research Safat Kuwait, 1987: 177-191.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准《海洋调查规范, 第6部分: 海洋生物调查 GB/T 12766. 6-2007》[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 89-97.
- [17] 陈国宝, 李永振, 陈丕茂, 等. 鱼类最佳体长频率分析组距研究[J]. 中国水产科学, 2008, 15(4): 559-666.
- [18] GAYANILO F, SPARRE P, PAULY D. The FAO-ICLARM stock assessment tools II (User's Guide) [R]. Rome: FAO Computerized Information Series (Fisheries), 2005.
- [19] PAULY D. Length-converted catch curves and the seasonal growth of fishes[J]. ICLARM Fishbyte, 1990, 8(3): 33-38.
- [20] SPARRE P, VENEMA S C. 热带鱼类资源评估导论[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992: 166-172.
- [21] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 312-315.
- [22] TERRANCE QUINN J, RICHARD B D. Quantitative fish dynamics [M]. New York: Oxford University Press, 1999: 542.
- [23] PAULY D. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks[J]. J Cons Int Explor Mer, 1980, 39(20): 175-192.
- [24] 施秀帖. 体长股分析法的原理及其在南海北部围网渔业资源研究中的应用[R]. 广州: 中国水产科学研究院南海水产研究, 1983: 38.