

额尔齐斯河白斑狗鱼的生长模型和生活史类型

霍堂斌¹, 马波¹, 唐富江¹, 李喆¹, 姜作发¹, 蔡林钢², 阿达克白克·可尔江², 刘立志²

(1. 中国水产科学研究院 黑龙江水产研究所, 农业部黑龙江流域渔业资源与环境重点野外科学观测试验站, 黑龙江 哈尔滨 150070; 2. 新疆维吾尔自治区水产科学研究所, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 采用特殊 Von Bertalanffy 生长方程(特殊 VBGF)、一般 Von Bertalanffy 生长方程(一般 VBGF)、Logistic 生长方程、Gompertz 生长方程、Brody 生长方程和指数生长方程等 6 种常用动物生长模型拟合额尔齐斯河白斑狗鱼(*Esox lucius* Linnaeus)的生长, 根据各模型拟合残差平方和的大小判断拟合程度。结果表明, 特殊 VBGF 生长模型对白斑狗鱼体长生长的拟合效果最好; 其次是一般 VBGF。以 14 种已知生活史类型鱼类为参照物, 选择渐近体长(L_{∞})、渐近体质量(W_{∞})、生长系数(k)、自然死亡系数(M)、初次性成熟年龄(T_m)、最大年龄(T_{max})和种群繁殖力系数(PF)等 7 个生态学参数作指标, 采用模糊聚类分析法, 判断白斑狗鱼为偏 r -选择类型鱼类。应用 Beverton-Holt 动态综合模型计算改变起捕年龄(t_c)和瞬时捕捞死亡率系数(F)的产量, 分析产量变化曲线, 结合额尔齐斯河白斑狗鱼的资源现状, 建议其起捕年龄至少应定为 4 龄, F 不超过 0.25。[中国水产科学, 2009, 16(3): 316–323]

关键词: 白斑狗鱼; 生长模型; 模糊聚类分析; 生活史类型

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2009)03-0316-08

白斑狗鱼(*Esox lucius* Linnaeus)属于鲑形目(Salmoniformes), 狗鱼科(Esocidae), 狗鱼属, 是额尔齐斯河水系的主要土著经济鱼类之一。该物种属于肉食性鱼类, 以银鲫(*Cauratus gibelio* Bloch)、高体雅罗鱼(*Leuciscu idus* Linnaeus)、尖鳍鲈(*Gobio gobio acutipinnatus*)等鱼类为食, 为典型的攻击性掠食者^[1]。白斑狗鱼雌鱼的最小性成熟年龄为 3⁺ 龄(平均体长 428.0 mm, 平均体质量 800.0 g), 雄鱼为 2⁺ 龄(平均体长 360.0 mm, 平均体质量 500.0 g)^[2-7]。20 世纪 60 年代前白斑狗鱼在额尔齐斯河水系的产量占该河渔获物重量的 20% 左右, 年产量可达 120 t^[8]。近年来由于额尔齐斯河水位下降、繁殖条件恶化以及人为过度捕捞, 导致白斑狗鱼在额尔齐斯河的种群数量急剧下降。

关于白斑狗鱼生长模型、生活史类型等方面的研究尚未见报道。本研究通过 6 种常用动物生长模

型拟合白斑狗鱼的生长, 用模糊聚类法定量研究白斑狗鱼的生活史类型, 同时以 Beverton-Holt 动态综合模型对模糊聚类的结果进行验证, 并用世代生物量法探讨其合理捕捞强度与捕捞年龄, 旨在为额尔齐斯河流域白斑狗鱼种群的保护与合理开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样本采集及处理

2007 年 4–9 月在新疆额尔齐斯河水系, 北屯河段到 185 团河段及克兰河口、布尔津河口、哈巴河河口(北纬 47° 25′ 38″ N–47° 59′ 21.3″ N, 东经 87° 32′ 35″ E–85° 46′ 20.1″ E), 采用单层挂网(网长 80 m, 网高 1.5 m, 网目为 4 cm、6 cm、8 cm、10 cm)采捕白斑狗鱼共计 237 尾。活体测量体长、体质量后, 每尾鱼取背鳍下方鳞片 8~10 枚用作年龄鉴定, 每尾

收稿日期: 2008-10-12; 修订日期: 2008-12-05.

基金项目: 环保部全国生物物种资源联合执法检查 and 调查项目资助(物种 08-二-9); 黑水研基本科研专项(2008HSYZX-ZH-11); 农业部鱼类生物育种实验室专项资助(2008NYBZS-11).

作者简介: 霍堂斌(1980-), 男, 研究实习员, 主要从事鱼类生态学研究. E-mail: tbhuo@163.com

通讯作者: 姜作发, 研究员. E-mail: jzffish@163.com

鱼卵子计数采用重量法,即在解剖取出卵巢并准确称重后,随机称取1 g卵巢,用4%甲醛溶液固定,计数所有沉积卵黄的卵粒数。根据鳞片的年轮特征来鉴定白斑狗鱼的年龄^[9-10]。

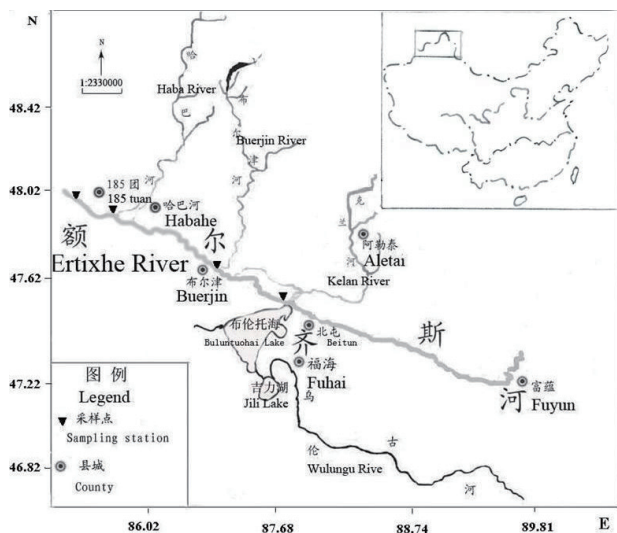


图1 额尔齐斯河采样点位图

Fig.1 Sampling stations in Ertixhe River

1.2 数据来源

选用特殊Von Bertalanffy生长方程(特殊VBGF)、一般Von Bertalanffy生长方程(一般VBGF)、逻辑斯谛生长方程(Logistic GF)、Gompertz生长方程(Gompertz GF)、Brody生长方程(Brody GF)和指数生长方程(指数GF)^[11]等6种常用动物生长模型拟合白斑狗鱼的生长。

特殊VBGF: $L_t = L_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]$, $W_t = W_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]^3$

一般VBGF: $L_t = L_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]^{\frac{1}{D}}$, $W_t = W_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]^{\frac{b}{D}}$

Logistic GF: $L_t = \frac{a}{1 + e^{-(k-ft)}}$, $W_t = \frac{a}{[1 + e^{-(k-ft)}]^b}$

Gompertz GF: $L_t = ae^{-be^{-kt}}$, $W_t = ae^{-be^{-kt}}$

Brody GF: $L_t = a(1 - be^{-kt})$, $W_t = a(1 - be^{-kt})$

指数GF: $L_t = ae^{kt}$, $W_t = ae^{kt}$

6种生长方程的生长参数估算采用三点法及最小二乘法^[12]。一般VBGF中的表面因子 D ,按公式 $D = b[1 - (0.674 + 0.0357 \lg W_{\max})]$ ^[13]计算, $W_{\max}$ 为观测到的最大个体体质量。运用李氏公式^[13]($L_n = r_n / R \cdot L$,式中 L_n —推算体长,mm; r_n —年轮半径,mm; R —鳞

片半径,mm; L —实测体长,mm)和体长、体质量相关式,推算白斑狗鱼理论体长和理论体质量。生长指标按公式 $C_{\mu} = (\lg L_2 - \lg L_1) L_1 / 0.4343(t_2 - t_1)$ 计算。根据以上生长模型参数估算的方法,计算体长和体质量关系参数,求得各生长模型的参数估计值、拟合残差平方和。拟合残差平方和由生长模型计算的理论与推算值之差的平方和求得^[14-16],作为判断生长模型拟合生长的评价标准。

本研究选择达氏鳊(*Huso dauricus*)、中华鲟(*Acipenser sinensis*)、施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)、青海湖裸鲤(*Gymnocypris przewalskii przewalskii* Kessler)、色林错裸鲤(*Gymnocypris selincuoensis*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitris*)、鳙(*Aristichys mobilis*)、鲫(*Carassius auratus*)、大眼鳊(*Siniperca kneri*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、尖头塘鳢(*Eleotris oxycephala*)、铜鱼(*Coreius heterodon*)等14种已知生活史类型鱼类,作为生活史类型研究的参照物,以上鱼类数据取自文献[17-20]。用于研究生活史类型的生态参数包括7项:渐近体长(L_{∞})、渐近体质量(W_{∞})、生长系数(k)、自然死亡系数(M)、初次性成熟年龄(T_m —在各龄的样品中,50%以上个体有成熟性腺的最低年龄,作为初次性成熟年龄)、最大年龄($T_{\max}$)和种群繁殖力(PF)。其中 L_{∞} 、 W_{∞} 和 k 为特殊VBGF参数。 M 由 $\lg M = -0.0066 - 0.279 \lg L_{\infty} + 0.6543 \lg k + 0.4634 \lg T$ 求得^[17]; $T_{\max} = 3/k + t_0$; $PF = (rx)^{jp/2}$,式中 p 为繁殖周期, j 为初次性成熟年龄; r 为一次产出的卵粒数,作为群体繁殖, r 为绝对怀卵量; x 为一生产卵次数,由 $(T-j)/p+1$ 求得,式中 T 为渔获物中最大年龄。

1.3 计算方法

1.3.1 生活史类型的模糊聚类分析 因为生态参数的量纲不同,所以应用模糊聚类分析之前,首先需要消除生态参数量纲的影响,将参加计算的参数运用极值标准化公式,将标准化的数据压缩到[0,1]区间内;标准化值如不都在[0,1]闭区间内,为将其压缩到该区间内,再以极值标准化公式求值;最后将标准化后数值输入SPSS 15.0统计软件,选择组间联结法生成聚类树状图。

1.3.2 Beverton-Holt动态综合模型 应用Beverton-Holt动态综合模型^[21],计算白斑狗鱼单位补充产量的平衡产量,用以评定在不同捕捞强度和不同起捕年龄的产量变化情况,以验证白斑狗鱼的生活史类型,及评定不同生态选择的鱼类在不同捕捞强度和不同捕捞年龄时的产量变化情况。计算公式如下:

$$Y=FN_0e^{-Mr}W_{\infty}(\frac{1}{Z}-\frac{3e^{-kr}}{Z+k}+\frac{3e^{-2kr}}{Z+2k}-\frac{3e^{-3kr}}{Z+3k})$$

式中:Y—渔获量,kg;F—捕捞死亡系数;N₀—每年达到t₀龄个体假设数,一般取1 000尾;r—生长时间,a;r=t_c-t₀,t_c—起捕年龄,t₀—理论上开始生长的

年龄;M—自然死亡系数;Z—总死亡系数,Z=F+M。

2 结果与分析

2.1 生长特性

2.1.1 年龄组成 白斑狗鱼的鳞片有疏密相间的环片,在年轮形成的位置有一亮带,是年龄的标志。根据年龄统计分析,渔获物由10个年龄组组成,1⁺龄组鱼占20.25%,2⁺龄组鱼占23.63%,3⁺龄组鱼占25.32%,4⁺龄组鱼占8.86%,5⁺龄组鱼占9.70%,6⁺龄组鱼占8.44%,其他龄组鱼一共占3.80%。各年龄组鱼实测的平均体长和平均体质量见表1。

表1 白斑狗鱼各年龄组体长和体质量实测值
Tab. 1 Measured values of body length and body weight in different age groups of *E. lucius*

鱼龄 Age of year	体长/mm Body length		体质量/g Body weight		n
	$\bar{x}\pm\text{SD}$	变幅 Range	$\bar{x}\pm\text{SD}$	变幅 Range	
1 ⁺	253.3±30.6	203.2~302.3	105.1±22.2	96.2~261.5	48
2 ⁺	383.2±52.3	295.3~500.2	590.2±45.1	264.2~1 223.5	56
3 ⁺	483.1±51.2	360.4~550.4	1 095.1±67.2	515.4~1 835.3	60
4 ⁺	554.2±53.3	445.2~650.1	1 686.6±68.8	821.1~3 075.2	21
5 ⁺	600.2±42.1	510.4~675.0	1 981.0±84.6	1 235.4~2 853.6	23
6 ⁺	665.4±34.1	610.2~720.3	2 710.2±89.7	2 323.0~3 854.0	20
7 ⁺	736.2±27.8	692.0~780.4	4 250.2±88.9	3 522.0~5 012.2	3
8 ⁺	795.3±23.3	710.2~850.0	4 650.4±95.4	3 840.0~5 623.3	4
9 ⁺	801.2		6 200.2		1
11 ⁺	842.0		7 180.2		1

2.1.2 体长和体质量的关系 经点图分析和拟合(图2),额尔齐斯河白斑狗鱼的体长L与体质量W的关系式为:

$$W=2\times10^{-5}L^{2.9006}(R^2=0.9732,n=237)$$

将各龄鱼推算体长代入关系式中求得1~11龄鱼的推算体质量(表2、表3)。推算体质量可看成实足年龄的平均体质量。

2.1.3 生长阶段 从渔获物组成可见,白斑狗鱼由10个年龄组组成,种群以1⁺~3⁺龄组为主,种群结构较合理。根据文献[2-7]记载及本次所采集的标本观测,额尔齐斯河白斑狗鱼雌鱼的初次性成熟年龄为3⁺龄,雄鱼为2⁺龄。以相对增长率和生长指标划分生长阶

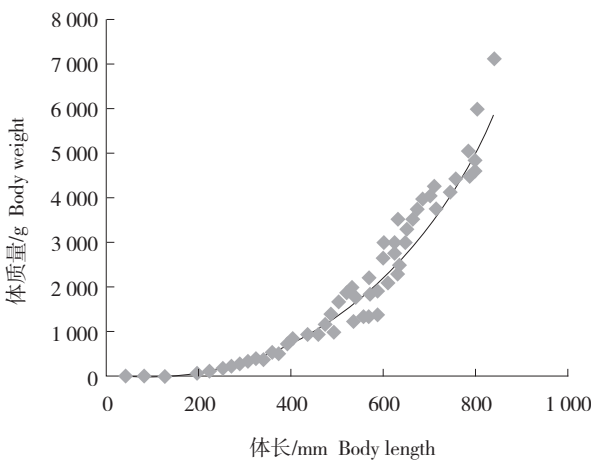


图2 额尔齐斯河白斑狗鱼体质量与体长相关曲线
Fig. 2 Relationship between body length and body weight of *E. lucius* in Ertixhe River watershed

段,更能客观地反映鱼类生长的特点。由表2可见,在3⁺龄前白斑狗鱼生长最快,体长和体质量相对增长率及生长指标均大于性成熟后的各龄鱼,说明摄取的能量主要用于个体的生长,这正是性成熟前的生长阶段;在3⁺龄至10⁺龄间,由于摄取的能量部分用于性腺的发育和成熟,其生长相对较为稳定,白斑狗鱼性成熟后相当一段时间内其生长速度仍然比较快,呈缓慢下降;自第10⁺龄后,生长指标迅速下降,仅为26.55,说明10⁺龄后,额尔齐斯河的白斑狗鱼生长缓慢。各龄鱼体长、体质量计算值和阶段生长指标见表2。

表2 各龄白斑狗鱼体长、体质量计算值和阶段生长指标
Tab. 2 Calculated values of body length and body weight and growth indices of *E. lucius* at various ages

鱼龄 Age	推算体长/mm Body length of back calculation	体长相对增长率/% Relative increase rate of BL	生长指标 Growth index	推算体质量/g Body weight of back calculation	体质量相对增长率/% Relative increase rate of BW
1 ⁺	201.2			94.5	
		51.74	83.9		234.3
2 ⁺	305.3			315.9	
		31.05	82.56		128.58
3 ⁺	400.1			722.1	
		17.2	63.49		52.11
4 ⁺	468.9			1098.4	
		15.14	66.11		50.46
5 ⁺	539.9			1652.7	
		12.76	64.84		41.63
6 ⁺	608.8			2 440.6	
		9.66	56.13		30.62
7 ⁺	667.6			3 057.4	
		7.31	47.1		22.68
8 ⁺	716.4			3 750.8	
		6.1	44.42		18.72
9 ⁺	760.1			4 452.9	
		5.45	40.31		16.61
10 ⁺	801.5			5 192.6	
		3.37	26.55		10.08
11 ⁺	828.5			5 715.8	

2.2 生长模型及拟合结果

从拟合结果看,特殊VBGF对白斑狗鱼体长的拟合效果最好(残差平方和为 0.65×10^4),其次是Brody GF(残差平方和为 1.66×10^4)和一般VBGF(残差平方和为 3.2×10^4);Gompertz GF生长模型对白斑狗鱼体质量的拟合效果最好(残差平方和为 0.12×10^8),其次是Logistic GF(残差平方和为 0.15×10^8)和特殊VBGF(残差平方和为 0.19×10^8)。指数GF对白斑狗鱼体长和体质量生长的拟合效果都最差(体长、体质量的残

差平方和分别为 10.39×10^4 、 1.14×10^8)。通过运算,白斑狗鱼最佳生长的模型及生长拐点如下:
特殊VBGF $L_t = 1\,085.49(1 - e^{-0.137\,2(t+0.603\,87)})$
 $W_t = 12\,658.26(1 - e^{-0.137\,2(t+0.603\,87)})^3$,拐点7.42龄,3 750.60 g,最大寿命20.8龄。
2.3 生活史类型判别
经过计算,得到白斑狗鱼的7个生态学参数,列于表3,其他13种鱼类生态学参数取自文献[17–20]。

表3 15种鱼的生态参数
Tab.3 Value of ecological parameters of 15 species of fish

序号 Number	鱼名 Species	L_{∞} / mm	W_{∞} / g	k	M	T_m / a	T_{max} / a	PF	文献 References
1	达氏鳊 <i>Huso dauncus</i>	4770.0	756 800	0.4	0.07	16	73.8	1.24	[17]
2	中华鲟 <i>Acipenser sinensis</i>	3 459	529 700	0.07	0.12	14	43.7	1.24	[17]
3	施氏鲟 <i>Acipenser schrenckii</i>	4 134	540 600	0.06	0.09	15	51.2	1.28	[17]
4	青海湖裸鲤 <i>Gymnocypris przewalskii przewalskii</i> Kessler	590.0	3 099.0	0.07	0.07	6	42.72	2.90	[18]
5	色林错裸鲤 <i>Gymnocypris selincuoensis</i>	485	1 410	0.07	0.14	9	43.6	1.93	[19]
6	白斑狗鱼 <i>Esox lucius</i>	1 082.2	12 658.3	0.137	0.22	3	20.8	86.07	本研究
7	青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	1 161.0	28 090.0	0.22	0.51	4	13.6	45.7	[17]
8	草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	872	14 489.2	0.31	0.56	3	9.5	87.3	[17]
9	鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	851.0	19 171.5	0.18	0.38	1.8	17.0	964.2	[17]
10	鲢 <i>Hypophthalmichthys molitris</i>	1 007	19 264.9	0.56	0.42	4	11.3	41.5	[17]
11	鳙 <i>Aristichthys mobilis</i>	1 142	26 335.6	0.29	0.45	3	7.1	114.5	[17]
12	大眼鳊 <i>Sinioerca kneri</i>	547	4 179.9	0.18	0.43	2.1	16.8	371.7	[17]
13	鲫 <i>Carassius auratus</i>	258	687.7	0.16	0.5	0.9	16.7	58 388	[17]
14	铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	570	2745	0.181	0.388	3	16	83.155	[20]
15	尖头塘鳢 <i>Eleotris oxycephaoa</i>	260.0	387.3	0.28	0.71	1	10.7	49300	[17]

应用模糊聚类分析法,对15种鱼类进行聚类分析,得到聚类树状图(图3),聚类图结果明显分为两大分支,即*k*-选择类型(中华鲟、施氏鲟、达氏鳊;偏*k*-选择类型:青海湖裸鲤^[18]、色林错裸鲤^[19])和*r*-选择类型(其他种类;偏*r*-选择类型:鲢^[17])。

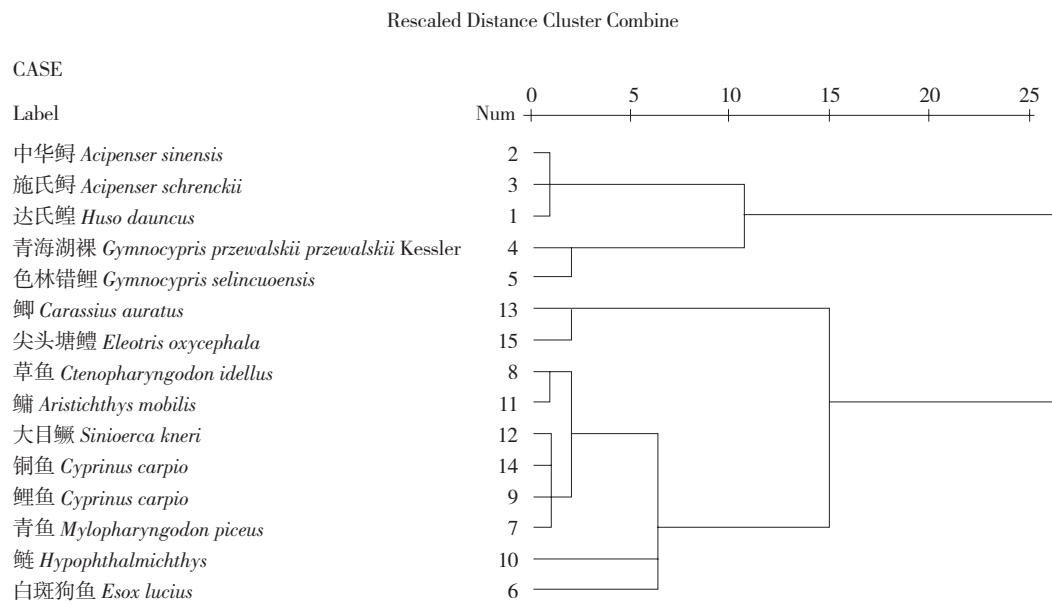


图3 15种鱼类生活史类型聚类树状图
Fig.3 Dendrogram of life-history patterns from 15 species of fish

2.4 Beverton-Holt动态综合模型

白斑狗鱼 Beverton-Holt 平衡产量模型结果见图4、图5。

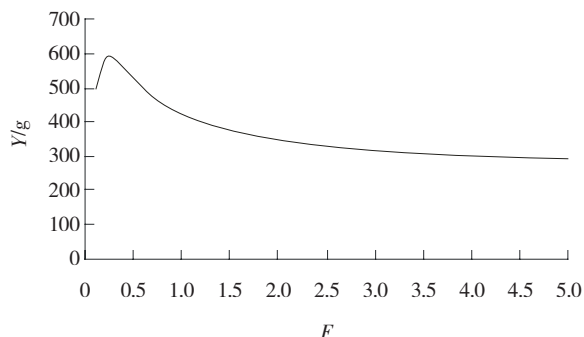


图4 改变捕捞死亡系数(F)时白斑狗鱼的产量(Y)曲线($t_c=2$)

Fig. 4 Yield curves of *E. lucius* when destruction coefficient changing at $t_c=2$

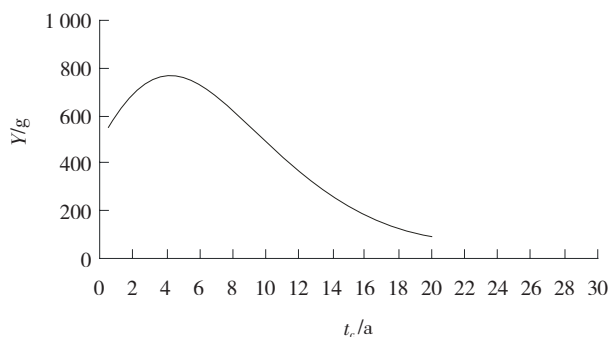


图5 改变起捕年龄(t_c)时白斑狗鱼的产量(Y)曲线($F=0.3$)

Fig. 5 Yield curves of *E. lucius* when harvesting age changing at $F=0.3$

从图4可见,在一定的起捕年龄($t_c=2$)下,变更捕捞死亡系数, F 从0.1至0.2,白斑狗鱼的产量处于上升位置,超过0.25这一捕捞水平,产量下降较快,超过一定捕捞强度产量($F=1.5$)曲线呈现极缓慢下降。这种产量曲线呈现偏 r -选择曲线特征。表现出捕捞对种群数量变动具有一定影响。如果是 k 型种群,在低捕捞水平时出现高的产量,呈现一个较窄的产量高峰,在高的捕捞水平时,产量则急剧下降,表现出捕捞对种群数量变动有明显的影响。如图5所示,在一定的捕捞强度($F=0.3$)下,变更起捕年龄($t=0.5, 1, 2, \dots, 8$ 龄),从0.5龄至4龄,产量略有提高,超过4龄,产量很快下降。在同一世代的群体里,随

着年龄的增加,由于自然死亡因素,种群密度大幅度减少,因而导致产量明显下降。结果表明,白斑狗鱼属偏 r -选择类型的鱼类,同时证实了用模糊聚类分析法得到的结论。

3 讨论

3.1 白斑狗鱼生活类型

鱼类生活史类型是根据鱼类主要生态参数的大小,以及各参数间的相互关系作出判断^[16,22]。但其主要生态参数往往不是趋向一致的,可能受人为因素影响很大。而应用模糊聚类法研究该问题,将各参数标准化后,消除量纲的影响,通过统计分析软件处理和分析,简单且直观。本研究选择达氏鳊、尖头塘鳢等14种已知生活史类型的鱼类为参照物,根据其常用7种生态学参数进行模糊聚类分析,14种鱼聚为两类,即 k -选择类型和 r -选择类型。白斑狗鱼与鲢的距离最近,并与尖头塘鳢^[6]分属于一类,被聚为 r -选择类型鱼类。

本研究结论与叶富良等^[17]的观点一致,认为种群繁殖力是判断生活史类型的最重要的参数之一。虽然白斑狗鱼 $L_{\infty}=1\ 082.2$ mm、 $W_{\infty}=12\ 658.3$ g,比偏 k -选择类型的鱼类青海湖裸鲤和色林错裸鲤都大,但是青海湖裸鲤和色林错裸鲤初次性成熟分别为6⁺龄和9⁺龄。白斑狗鱼初次性成熟年龄比鲢还小,雌性3⁺龄、雄鱼2⁺龄即可繁殖后代,并且PF达到86.07,大于鲢,远大于青海湖裸鲤的2.90和色林错裸鲤的19.3,在11~100范围内。根据白斑狗鱼实际年龄组成体长、体质量计算,其最大寿命只有20.8龄,远小于青海湖裸鲤的42.72龄和色林错裸鲤的43.6龄,最终判断其应属偏向 r -选择鱼类。

3.2 白斑狗鱼合理捕捞年龄与捕捞强度

目前已有许多生长模型应用于鱼类的生长研究中^[23-28]。中国大陆多采用特殊VBGF拟合鱼类的生长^[29-33],本研究表明,特殊VBGF生长模型对白斑狗鱼生长的拟合效果最好,指数GF对白斑狗鱼体长生长的拟合效果最差。这与张建东对中华乌塘鳢^[34]、严朝晖等^[35]对大伙房水库的鲢和鳙、陈刚^[36]对勒氏

笛鲷和陆小苕等^[37]对9种生长模型的比较结果一致,不同鱼类最适合描述其生长的生长方程是不同的。特殊VBGF生长模型对白斑狗鱼生长的拟合效果最好,便可以由特殊VBGF计算出的生长参数,直接应用于Beverton-Holt动态综合模型,计算不同瞬时捕捞死亡系数和起捕年龄的单位补充产量。

20世纪60年代前白斑狗鱼在额尔齐斯河水系年产量可达120 t,20世纪60年代末其产量迅速下降,1999年白斑狗鱼的产量仅15 t左右^[8];2006年白斑狗鱼的产量仅7.5 t左右。近年来由于额尔齐斯河水位下降,以及不利的繁殖条件和人为过度捕捞,导致白斑狗鱼在额尔齐斯河的产量下降到历史最低点。而在2007年调查发现,目前白斑狗鱼的起捕年龄约为2龄。从图5单位补充产量的计算结果分析,白斑狗鱼达到最高产量时的起捕年龄为5龄左右。因此综合考虑以上因素,为了合理、持续、充分保护和利用白斑狗鱼渔业资源,恢复其资源量,起捕年龄应不低于4龄, F 不能超过0.25,否则额尔齐斯河白斑狗鱼资源将很难恢复。

参考文献:

- [1] 任慕莲,郭焱,张人铭. 我国额尔齐斯河流鱼类及名类区系组成[J]. 干旱区研究,2002,19(2): 62-66.
- [2] Jmeas S D. Growth, maturation, and production of northern pike in three Michigan Lakes [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1983, 112: 38-45.
- [3] Kosc J. Age and growth of pike (*Esox lucius* L.) in irrigation canals of the Est Slovakian Lowland Czech [J]. Anim Sci, 2001, 46(1): 34-40.
- [4] Randall W O, Nikolai M P. Age and growth of pike (*Esox lucius*) in Chivyrkui Bay, Lake Baikal [J]. Great Lakes Res, 2000, 26(2): 164-173.
- [5] Mann R H K. Observations on the age, growth, reproduction and food of the pike *Esox lucius* (L.) in two rivers in southern England [J]. Fish Biol, 1976, 8: 179-197.
- [6] Catherine P B, William M T, Ellie E P, et al. Individual specialization and trophic adaptability of northern pike (*Esox lucius*): an isotope and dietary analysis [J]. Oecologia, 1999, 120: 386-396.
- [7] 苏德学,阿达可白克·可尔江. 乌伦古湖白斑狗鱼的生物学研究[J]. 新疆农业科学, 2002, 39(5): 259-263.
- [8] 任慕莲,郭焱,张人铭,等. 中国额尔齐斯河鱼类资源及渔业[J]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 2002: 80-87.
- [9] 张觉民. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- [10] 张桂蓉,杜劲松,严安生,等. 额尔齐斯河白斑狗鱼的个体繁殖力[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(3): 335-337.
- [11] 费鸿年,张诗全. 中国鱼类资源[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990: 244-249.
- [12] 杨运清,杨玉林. 动物生长模型参数的常规估计法[J]. 东北农业大学学报, 1994, (2): 132-137.
- [13] Pauly D. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks [J]. Cons Int Explor Mer, 1980, 39(20): 175-192.
- [14] 叶富良,张健东. 鱼类生态学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 2002: 43-53.
- [15] 徐克学. 生物数学[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 20-25.
- [16] 里克 WE (费鸿年,袁蔚文译). 鱼类种群生物统计量的计算和分析[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [17] 叶富良,陈刚. 19种淡水鱼类的生活史类型研究[J]. 湛江海洋大学学报, 1998, 18(3): 11-17.
- [18] 刘军. 青海湖裸鲤生活史类型的研究[J]. 四川动物, 2005, 24(4): 455-485.
- [19] 刘军. 色林错鲤生活史类型的模糊聚类分析[J]. 水利渔业, 2006, 26(2): 17-18.
- [20] 杨严鸥,甘永成,姚峰. 铜鱼生活史类型的模糊模式识别[J]. 湖北农学院学报, 1998, 18(4): 340-342.
- [21] 詹秉义. 渔业资源评估(全国高等农业院校教材)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 353.
- [22] 叶富良,陈刚. 3种鲟科鱼类生活史类型的研究[J]. 湛江水产学院学报, 1996, 16(1): 1-4.
- [23] 叶富良. 东江七种鱼类的生活史类型研究[J]. 水生生物学报, 1988, 12(2): 107-115.
- [24] Jolicoeur P. A flexible 3-parameter curve for limited or unlimited somatic growth [J]. Growth, 1985, 49(4): 271-281.
- [25] Mercer L P, Flodin N W, Morgen P H. New methods for comparing the biological efficiency of alternate nutrient sources [J]. Nutrit, 1978, 108: 1 244-1 249.
- [26] Parks J R. A theory of feeding and growth of animals [J]. Berlin Springer Verlag, 1982.
- [27] Richards FJ. A flexible growth function for empirical use [J]. Experim Botany, 1959, 10(2): 290-301.
- [28] Wan X R, Zhong W Q, Wang M I. New flexible growth function and

- its application to the growth of small mammals [J]. Growth Dev Aging, 1998, 62 (1-2): 27-36.
- [29] 叶富良, 张健东. 尖头塘鳢的年龄、生长和生活史类型的研究[J]. 生态学报, 1993, 13 (1): 51-57.
- [30] 黄权, 张东鸣, 刘春力, 等. 鸭绿江花羔红点鲑的生长模型和生活史类型研究[J]. 吉林农业大学学报, 1999, 21 (2): 60-62.
- [31] 吴莉芳, 张东鸣, 黄权, 等. 乌鳢的生长模型和生活史类型研究[J]. 吉林农业大学学报, 2000, 22 (2): 94-96.
- [32] 黄权, 刘春力, 赵静, 等. 松花江水系翘嘴红鲌生长模型的研究[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25 (1): 105-110.
- [33] 唐晨辉, 王香亭. 黄河鲤鱼生长模型的研究[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 1997, 27 (2): 118-124.
- [34] 张健东. 中华乌鳢的生长、生长模型和生活史类型[J]. 生态学报, 2002, 22 (6): 841-846.
- [35] 严朝晖, 史为良. 大伙房鲢鳙的生长及生长模型[J]. 水产学报, 1995, 19 (1): 28-34.
- [36] 陈刚. 勒氏笛鲷年龄生长和生活史类型的研究[J]. 水产学报, 1997, 21 (1): 6-12.
- [37] 陆小茜, 陆文杰, 郑光明, 等. 鱼类生长的幂指数生长方程[J]. 水产学报, 2002, 26 (3): 281-284.

Growth models and life-history pattern of *Esox lucius* in Ertixhe River

HUO Tang-bin¹, MA Bo¹, TANG Fu-jiang¹, LI Zhe¹, JIANG Zuo-fa¹, CAI Lin-gang², Adakbek · kar Jan², LIU Li-zhi²

(1. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Key Field Scientific Observation Station of Fisheries Resources and Environment in Heilongjiang River valley, Chinese Academy of Fishery Sciences, Ministry of Agriculture, Harbin 150070, China; 2. Institute of Aquatic Products Science, Urumqi 830000, China)

Abstract: The present paper deals with the growth and life-history pattern of *Esox lucius* Linnaeus in the Ertixhe river, Xinjiang. The scale under dorsal fin was selected as age determination material. Specialized von Bertalanffy growth function, generalized von Bertalanffy growth function, Logistic growth function, Gompertz growth function, Brody growth function and Exponential growth model were used for fitting the length and weight growth of *Esox lucius* Linnaeus. The sum of residual squares was compared with one another and the results showed that specialized von Bertalanffy growth function was the most precise model to fit the growth, and the following was the generalized von Bertalanffy growth function and Logistic growth function. Compared with the life-history patterns of 14 kinds of fishes, the life-history pattern of *Esox lucius* linnaeus was studied by analyzing seven ecological parameters including asymptotic body-length (L_{∞}), asymptotic body-weight (W_{∞}), growth coefficient (k), natural mortality (M), primary reproductive age (T_m), maximum age (T_{max}) and population fecundity (PF). The results showed that the life-history pattern of *Esox lucius* Linnaeus tended to be r -selected. Meanwhile, Equilibrium yield model Beverton-Holt was applied to calculate the fish yield. When the instantaneous fishing mortality (F) was changed, the yield curves has a weaker peak at relatively low value of F , and beyond the value of F , the yield increased to a maximum value at $t_c = 4$ years and then decreased greatly with rising t_c . Analysis of yield curves also demonstrated that the life-history pattern had a tendency towards r -selection. [Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16 (3): 316-323]

Key words: *Esox lucius* Linnaeus; growth model; fuzzy pattern recognition; life-history pattern