

引用格式:

韩豪祥, 金洪宇, 廉杰, 薄永芳, 马波. 黑龙江流域黑龙江茴鱼个体繁殖力研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2024, 50(3): 89–93.

HAN H X, JIN H Y, LIAN J, BO Y F, MA B. Individual fecundity study for *Thymallus grubii* in Heilongjiang River basin[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2024, 50(3): 89–93.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



黑龙江流域黑龙江茴鱼个体繁殖力研究

韩豪祥^{1,2}, 金洪宇¹, 廉杰^{1,2}, 薄永芳^{1,3}, 马波^{1,2*}

(1.中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070; 2.上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306; 3.大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁 大连 116023)

摘要: 在黑龙江流域呼玛河、额木尔河采集黑龙江茴鱼 332 尾, 经鉴定, 雄鱼 180 尾, 雌鱼 133 尾, 雌雄不辨 19 尾。对 63 尾性腺发育达到IV期的雌鱼测量体长、体质量、净体质量、卵巢质量、年龄, 计算性腺成熟系数、肥满度等; 取其卵巢前、中、后约 0.25 g 性腺组织称重、计数, 计算个体繁殖力; 运用 SPSS 16.0 将雌鱼个体绝对繁殖力(F)、体长相对繁殖力(F_L)、体质量相对繁殖力(F_m)与生物学指标进行多元线性回归分析, 获得全回归方程, 从中筛选出 P 值小于 0.05 的指标, 再次进行多元线性回归分析, 最终建立标准化回归方程; 将个体繁殖力与 7 项生物学指标分别进行拟合, 从中筛选出拟合度最高的方程。结果表明: 黑龙江茴鱼繁殖群体由 2~4 龄个体组成, 个体绝对繁殖力为 (2152.63 ± 905.96) 粒; 体长相对繁殖力为 (11.11 ± 3.01) 粒/mm; 体质量相对繁殖力为 (22.99 ± 1.62) 粒/g; 多元回归分析表明, 个体绝对繁殖力与卵巢质量呈正相关, 且偏相关系数最高; 从最佳拟合方程中可以看出, 个体绝对繁殖力与卵巢质量(m_0)的拟合度最高($R^2=0.9843$), 关系式为 $F=0.8126m_0^2+234.09m_0+520.14$, 可以用个体绝对繁殖力和卵巢质量的最佳拟合方程估算野生黑龙江茴鱼种群的繁殖力。

关键词: 黑龙江茴鱼; 个体绝对繁殖力; 体长相对繁殖力; 体质量相对繁殖力

中图分类号: Q959.4

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2024)03-0089-05

Individual fecundity study for *Thymallus grubii* in Heilongjiang River basin

HAN Haoxiang^{1,2}, JIN Hongyu¹, LIAN Jie^{1,2}, BO Yongfang^{1,3}, MA Bo^{1,2*}

(1.Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin, Heilongjiang 150070, China; 2. College of Fisheries and Life Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3.College of Fisheries and Life Dalian Ocean University, Dalian, Liaoning 116023, China)

Abstract: A total of 332 *Thymallus grubii* were collected from the Huma River and the Emur River in the Heilongjiang River Basin. And 180 males, 133 females, and 19 unable to distinguish between male and female were identified. Body length, body weight, net body weight, ovarian weight, age, gonadal maturity coefficient and fullness were measured in 63 females whose gonadal development reached stage IV. The age of micro-otoliths was identified, and about 0.25 g of gonadal tissue in the anterior, middle and posterior ovaries of the females was weighed respectively and counted, and the individual fecundity was calculated. SPSS 16.0 was used to conduct multiple linear regression analysis on absolute fecundity F , the relative fecundity of body length F_L , the relative fecundity F_m of body weight, and the biological indexes of female individuals, and the full regression equation was obtained, from which the index with P value less than 0.05 was screened out, and the multiple linear regression analysis was carried out again, and finally the standardized regression equation was established. Individual fecundity was fitted to seven biological indicators, and the equation with the highest fit was selected. The results showed that the breeding population of *Thymallus grubii* was composed of 2-4

收稿日期: 2023-06-30

修回日期: 2024-03-08

基金项目: 农业农村部农业财政专项(CZ2020672400); 中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(2020TD07)

作者简介: 韩豪祥(1998—), 男, 河南平顶山人, 硕士研究生, 主要从事渔业资源与生态学研究, 1301786963@qq.com; *通信作者, 马波, 硕士, 研究员, 主要从事渔业资源保护及利用研究, hsyambo@163.com

years old individuals, and the absolute fecundity of individuals was $(2\ 152.63 \pm 905.96)$ grains. The relative fecundity of body length was (11.11 ± 3.01) grains/mm. The relative fecundity of body weight was (22.99 ± 1.62) grains/g. Multiple regression analysis showed that the absolute fecundity of individuals was positively correlated with ovarian quality, and the partial correlation coefficient was the highest. From the best-fitting equation, it can be seen that the fitting degree between individual absolute fecundity and ovarian mass is the highest ($R^2=0.984\ 3$), and the relationship is $F=0.812\ 6\ m_0^2+234.09\ m_0+520.14$, so the best-fitting equation of individual absolute fecundity and ovarian mass can be used to estimate the fecundity of wild *Thymallus grubii* population.

Keywords: *Thymallus grubii*; the absolute fecundity(F); the relative fecundity of body length(F_L); the relative fecundity of body weight(F_m)

黑龙江茴鱼(*Thymallus grubii*)隶属于鲑形目(Salmoniformes)茴鱼科(Thymallida)茴鱼属(*Thymallus*)^[1],是典型的冷水性鱼类,在中国自然分布于黑龙江流域的支流水域中^[2-3],不进入江河湖泊,仅在繁殖期、越冬期进行短距离的洄游,活动范围较小。黑龙江茴鱼对环境的要求高,在黑龙江流域尚未形成大规模群体,已被列入《中国濒危鱼类红皮书》^[4]。黑龙江茴鱼的分类学^[5-8]、细胞遗传学^[9]、生理生化^[10-13]、胚胎发育^[14]、卵营养成分^[15]及精子活力^[16]等相关研究已取得积极进展。

鱼类个体繁殖力是评估其繁殖潜力的重要指标之一,是研究种群动态方向的基础^[17]。笔者在黑龙江流域呼玛河、额木尔河采集黑龙江茴鱼样本,对雌性样本测定体长、体质量、空壳质量、性腺质量等生物学指标,分析个体繁殖力与单一生物学指标之间的相关关系,寻找预测个体繁殖力的最优方程,以期黑龙江茴鱼野生群体的种质资源恢复和保护提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

于2020年9—10月,在黑龙江流域呼玛河、额木尔河采用拟饵钩钓和三层流刺网捕捞的方式,共采集黑龙江茴鱼332尾。

1.2 方法

测量茴鱼的体长(L)、体质量(m);解剖后鉴定其性别及性腺发育程度,称量其净体质量(m_n);测量性腺发育达到IV期的雌鱼的卵巢质量(m_0)、卵径,取其微耳石用于年龄(A)的鉴定,计算肥满度(K)和性腺成熟系数(GSI)。

取雌鱼卵巢的前、中、后部各约0.25 g的性腺

组织,吸干水分后进行称重、计数,采用称量法^[18]计算个体绝对繁殖力(F)、体长相对繁殖力(F_L)、体质量相对繁殖力(F_m)。

1.3 数据处理

使用SPSS 16.0分析试验数据。对繁殖群体的体质量与体长进行二次函数、幂函数、对数函数、线性函数、指数函数5种函数拟合。将63尾雌鱼的个体繁殖力(F 、 F_L 、 F_m)与7项生物学指标(体长、体质量、净体质量、卵巢质量、年龄、性腺成熟系数、肥满度)分别进行多元线性回归分析,获得全回归方程,从中筛选出 P 值小于0.05的指标,将个体繁殖力(F 、 F_L 、 F_m)与筛选出来的生物学指标再次进行多元线性回归分析,最终建立标准化回归方程。为了筛选出个体繁殖力与各单一生物学指标的最佳拟合方程,将个体繁殖力(F 、 F_L 、 F_m)与7项生物学指标分别进行拟合,从中选出拟合度最好的方程。

2 结果与分析

2.1 黑龙江茴鱼的生物学指标

经鉴定,采集的332尾黑龙江茴鱼中,有雄鱼180尾、雌鱼133尾、雌雄不辨19尾,雌雄比例为1:1.35。雌鱼性腺发育至IV期及以上的共63尾,生物学指标统计值列于表1。

测量卵母细胞的卵径,黑龙江茴鱼卵径大小为 (1.63 ± 0.22) mm,基本一致。对繁殖群体的体质量与体长进行二次函数、幂函数、对数函数、线性函数、指数函数5种函数拟合,决定系数分别为0.961 6、0.959 9、0.867 8、0.915 7、0.956 3,结果,二次函数拟合时拟合度最高,其回归方程为 $m=0.011\ 5\ L^2-2.726\ 5\ L+207.65$, $R^2=0.961\ 6$ 。

表 1 黑龙江茴鱼雌鱼的生物学指标

Table 1 Biological indices of female individuals of *Thymallus grubii*

统计值	体长/mm	体质量/g	净体质量/g	卵巢质量/g	性腺成熟系数	肥满度/(g cm ⁻³)	卵径/mm	年龄
范围	151~270	59.62~316.24	51.53~260.48	3.29~27.49	0.05~0.11	1.30~1.80	1.07~2.68	2~4
平均值±标准差	189.24±17.56	107.80±37.56	92.47±31.10	6.77±3.5	0.07±0.01	1.55±0.11	1.63±0.22	2.68±0.69

2.2 黑龙江茴鱼雌鱼的个体繁殖力与年龄的关系

计算 63 尾雌鱼的个体繁殖力, 黑龙江茴鱼雌鱼个体绝对繁殖力为(2 152.63±905.96)粒, 体长相对繁殖力为(11.11±3.01)粒/mm, 体质量相对繁殖力为(22.99±1.62)粒/g。

由表 2 可以看出, 63 尾雌鱼的年龄集中在 2~4

龄, 2 龄样品数量最多, 占总样品数的 44.44%。将 3 个年龄组的个体繁殖力分别进行单因素方差分析, 结果显示各年龄组间的个体绝对繁殖力、体长相对繁殖力、体质量相对繁殖力均呈极显著差异。计算各年龄组总繁殖力, 3 龄组的贡献率最大, 而 4 龄组的贡献率最小。

表 2 黑龙江茴鱼不同年龄雌鱼个体的繁殖力和生物学指标

Table 2 Fecundity and biological indices of different aged female individuals of *Thymallus grubii*

年龄	样品数/尾	个体绝对繁殖力/粒		体长相对繁殖力/(粒 mm ⁻¹)		体质量相对繁殖力/(粒 g ⁻¹)		总繁殖力/粒	贡献率/%
		范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差		
2	28	1 128.00~2 192.15	(1 698.08±239.82)A	7.47~11.85	(9.52±1.06)A	20.46~24.27	(22.26±1.06)A	47 546.37	35.06
3	27	1 638.12~2 699.82	(2 124.32±271.44)B	8.85~13.37	(11.09±1.18)B	20.82~28.33	(23.32±1.52)B	57 356.56	42.29
4	8	2 634.31~7 519.32	(3 839.10±1 563.18)C	12.79~27.85	(16.75±4.71)C	21.16~28.87	(24.42±2.17)C	30 712.79	22.65

同列不同字母表示黑龙江茴鱼年龄间差异有统计学意义(P<0.01)。

2.3 黑龙江茴鱼雌鱼个体繁殖力与生物学指标的关系

分析 63 尾黑龙江茴鱼雌鱼的个体繁殖力(F、F_L、F_m)与 7 项生物学指标的相关性, 结果除肥满度之外, 个体繁殖力(F、F_L、F_m)与其余 6 项生物学指标均呈极显著正相关(表 3)。

个体繁殖力与 7 项生物学指标的多元线性回归

分析结果显示, 个体繁殖力均与卵巢质量呈正相关, 且偏相关系数最高(表 4)。

在个体繁殖力与各单一生物学指标的最佳拟合方程中, 个体繁殖力与卵巢质量的拟合方程决定系数均最高, 关系式分别为 F=0.812 6m₀²+234.09m₀+520.14, R²=0.984 3; F_L=-0.006 2m₀²+0.012 1m₀+4.617 1, R²=0.969 9; F_m=18.01m₀^{0.131 7}, R²=0.500 9。

表 3 黑龙江茴鱼雌鱼个体繁殖力与生物学指标的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between individual fecundity and biological indices in females of *Thymallus grubii*

个体繁殖力	相关系数						
	体长	体质量	净体质量	卵巢质量	性腺成熟系数	肥满度	年龄
个体绝对繁殖力	0.947**	0.989**	0.984**	0.987**	0.623**	0.114	0.670**
体长相对繁殖力	0.941**	0.984**	0.980**	0.983**	0.656**	0.177	0.688**
体质量相对繁殖力	0.610**	0.562**	0.539**	0.688**	0.834**	-0.204	0.455**

“***”表示极显著相关(P<0.01)。

表 4 黑龙江茴鱼雌鱼个体繁殖力的标准化回归方程

Table 4 Standardized regression equations for individual fecundity of females of *Thymallus grubii*

个体繁殖力	标准化回归方程	正相关指标	偏相关系数
F	F=1 250.654+290.172m ₀ -149.324GSI, R ² =0.991, P<0.01	m ₀	0.993
F _L	F _L =-16.436+0.119L-0.123m+0.064m _n +1.112m ₀ +5.204K-0.443GSI, R ² =0.987, P<0.01	L、m _n 、m ₀ 、K	0.392、0.279、0.479、0.408
F _m	F _m =20.823+0.319m ₀ , R ² =0.474, P<0.01	m ₀	0.688

3 结论与讨论

个体繁殖力是一种对环境响应的适应性特征, 具有较大的种内变化和种间差异^[19-21], 是研究种群动态发展方向的基础^[22]。与其他鲑科鱼类进行对比, 黑龙江茴鱼个体绝对繁殖力(2 152.63 粒)小于绥芬河大麻哈鱼(3 412 粒)^[23]、图们江大麻哈鱼(2 920.12 粒)^[24]和乌苏里白鲑(30 270 粒)^[25]。表明不同种鱼之间的个体绝对繁殖力存在差异, 这可能与生长环境、自身遗传特性、个体大小、食物摄入是否丰足等因素有关。

鱼类繁殖策略是指鱼类形成的与其生存环境条件相适应的繁殖特性^[26]。体质量相对繁殖力常用来反映鱼类的繁殖策略^[27]。相对繁殖力越小, 卵的体积越大, 孵出的仔鱼也较大, 存活率更高, 而相对繁殖力越大, 卵的体积越小, 孵出的仔鱼也较小, 存活率较低, 鱼类则会选择产下大量鱼卵, 增加种群数量, 这是保证物种延续长期选择进化的策略^[28]。黑龙江茴鱼体质量相对繁殖力(22.99 粒/g)大于绥芬河大麻哈鱼(1.17 粒/g)和图们江大麻哈鱼(1.08 粒/g), 但小于乌苏里白鲑(34.62 粒/g), 与乌苏里白鲑体质量相对繁殖力较为接近, 可见其繁殖策略是极为相似的, 符合相对繁殖力较高、卵径较大、幼鱼成活率高的特点, 从而更好地适应外部环境, 补充种群数量。而兴凯湖大银鱼体质量相对繁殖力极高, 怀卵量多, 幼鱼成活率低, 表明了鱼类之间不同的繁殖策略, 体现了鱼类之间繁殖策略的多样性。

鱼类产卵类型可以分为一次产卵型和分批产卵型, 可以通过其卵径的频率分布来判断鱼类的产卵类型^[29]。统计黑龙江茴鱼的卵径大小, 处于 IV 期的黑龙江茴鱼卵径分布为单峰, 因此可以判断出黑龙江茴鱼为一次性产卵类型。

单一生物学指标和个体繁殖力(F 、 F_L 、 F_m)之间的最佳拟合方程能直观地呈现出它们的关系^[30-31]。本研究结果表明, 黑龙江茴鱼个体繁殖力(F 、 F_L 、 F_m)均与卵巢质量的拟合程度最高, 其中个体绝对繁殖力与卵巢质量的拟合度在 3 种个体繁殖力中最高, 但是这种拟合结果存在一定局限性, 因此预测方程的确定需要结合多元线性逐步回归方程来分析。本研究结果表明: 对于个体绝对繁殖力来说, 卵巢质量和性腺成熟系数对其有影响; 而体长、体质量、净体质量、卵巢质量、肥满度和性腺成熟系

数对体长相对繁殖力有影响; 体质量相对繁殖力仅受到卵巢质量的影响。从生物学指标和个体繁殖力之间偏相关系数的比较中可以看出, 卵巢质量和个体绝对繁殖力之间的相关性更高。结合单一生物学指标与个体繁殖力的最佳拟合方程和多元逐步回归标准方程分析, 可以用个体绝对繁殖力和卵巢质量的最佳拟合方程 $F=0.812 6m_0^2+234.09m_0+520.14$ 来估算野生黑龙江茴鱼种群的繁殖力。

黑龙江流域呼玛河、额木尔河黑龙江茴鱼的主要繁殖群体为 3 龄和 4 龄。该年龄组的资源量一旦遭到破坏, 会对整个种群的延续和补充造成难以估量的影响, 因此建议起捕年龄应大于 5 龄。

参考文献:

- [1] 董崇智. 中国淡水冷水性鱼类[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2001: 63-65.
- [2] 张觉民. 黑龙江省鱼类志[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1995: 60-61.
- [3] 解玉浩. 东北地区淡水鱼类[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2007: 328-330.
- [4] 中华人民共和国濒危物种科学委员会. 中国濒危动物红皮书——鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 44-46.
- [5] 孙家贤, 马波. 呼玛河 3 种茴鱼遗传分化及属内地位的微卫星分析[J]. 水产学杂志, 2011, 24(1): 19-25.
- [6] 马波, 孙家贤, 姜作发. 黑龙江上游 3 种茴鱼分类地位的线粒体 D-loop 序列变异分析[J]. 中国水产科学, 2011, 18(2): 314-321.
- [7] 马波, 霍堂斌, 姜作发. 线粒体 DNA 序列变异显示鸭绿江茴鱼为黑龙江茴鱼同物异名[J]. 动物分类学报, 2008, 33(2): 414-419.
- [8] 马波, 姜作发, 霍堂斌. 下游黑龙江茴鱼种群遗传变异及地理分化的微卫星分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(5): 678-688.
- [9] 薛淑群, 尹洪滨, 赵吉伟. 黑龙江茴鱼(*Thymallus arcticus grubei* Dybowski)的细胞遗传学分析[J]. 江西农业大学学报, 2011, 33(2): 350-354.
- [10] 丰超杰, 张颖, 张永泉, 等. 急性高温胁迫对黑龙江茴鱼血清生化指标、消化酶、抗氧化酶活性及其基因表达的影响[J]. 淡水渔业, 2023, 53(6): 37-45.
- [11] 丰超杰, 刘霞飞, 张颖, 等. 高温胁迫下黑龙江茴鱼幼鱼肝脏组织结构变化及转录组表达特征[J]. 大连海洋大学学报, 2023, 38(4): 603-614.
- [12] 索力, 曲秋芝, 孙大江, 等. 黑龙江茴鱼卵黄脂磷蛋白分离纯化及抗血清的研制[J]. 华北农学报, 2011, 26(S2): 229-234.
- [13] 赵吉伟, 李小龙. 野生及养殖黑龙江茴鱼消化酶活性分布的比较研究[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(1): 26-30.

- [14] 韩英, 张澜澜, 赵吉伟, 等. 黑龙江茴鱼胚胎的发育及仔、稚、幼鱼的生长[J]. 淡水渔业, 2009, 39(4): 17-21.
- [15] 索力, 赵吉伟, 张颖, 等. 黑龙江茴鱼卵的营养成分分析[J]. 水产学杂志, 2010, 23(2): 34-36.
- [16] 韩英, 张澜澜, 徐革峰, 等. 黑龙江茴鱼(*Thymallus arcticus grubei* Dybowski)精子活力的观察[J]. 水产学杂志, 2008, 21(1): 9-14.
- [17] MURUA H, SABORIDO-REY F. Female reproductive strategies of marine fish species of the North Atlantic[J]. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science, 2003, 33: 23-31.
- [18] 韩豪祥, 马新江, 金洪宇, 等. 新疆额尔齐斯河高体雅罗鱼个体繁殖力研究[J]. 安徽农业大学学报, 2024, 51(1): 74-81.
- [19] FAWLE O O, ARAWOMO G A O. Fecundity of *Sarotherodon galilaeus*(Pisces: Cichidae)in the Opareservoir, Ile-Ife, Nigeria[J]. Revistade Biologia Tropical, 2000, 48(1): 47-52.
- [20] THORSEN A, WITTHAMES P R, MARTEINSDÓTTIR G, et al. Fecundity and growth of Atlantic cod(*Gadus morhua* L.) along a latitudinal gradient[J]. Fisheries Research, 2010, 104(1/2/3): 45-55.
- [21] MELO R M C, FERREIRA C M, LUZ R K, et al. Comparative oocyte morphology and fecundity of five characid species from São Francisco River Basin, Brazil[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2011, 27(6): 1332-1336.
- [22] 王腾, 刘云腾, 刘永, 等. 永乐环礁和美济礁灰鹦嘴鱼繁殖生物学特征[J]. 中国水产科学, 2022, 29(9): 1366-1374.
- [23] 王继隆, 刘伟, 王维坤, 等. 绥芬河大麻哈鱼个体生物学研究[J]. 水生生物学报, 2020, 44(1): 162-169.
- [24] 李培伦, 王继隆, 鲁万桥, 等. 图们江大麻哈鱼的个体繁殖力研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(12): 34-42.
- [25] 李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 黑龙江乌苏里白鲑的个体繁殖力[J]. 中国水产科学, 2015, 22(6): 1234-1242.
- [26] 张志明, 刘成杰, 丁慧萍, 等. 额尔齐斯河银鲫繁殖生物学研究[J]. 水生生物学报, 2020, 44(2): 389-398.
- [27] 谢玉, 朱凯, 玄文丹, 等. 东海海域带鱼的个体繁殖力[J]. 广东海洋大学学报, 2023, 43(3): 75-81.
- [28] 刘飞, 牟振波, 王且鲁, 等. 西藏浪错兰格湖裸鲤种群繁殖生物学特征[J]. 动物学杂志, 2020, 55(1): 58-66.
- [29] 林军, 李增光, 万荣, 等. 长江口凤鲚产卵群体繁殖力特征[J]. 上海海洋大学学报, 2022, 31(5): 1023-1031.
- [30] 刘扬, 简生龙, 王国杰, 等. 黄河上游拉西瓦水库欧白鲑 *Coregonus albula* 个体繁殖力研究[J]. 水产学杂志, 2023, 36(1): 15-21.
- [31] 杨志, 龚云, 朱迪, 等. 金沙江中下游圆口铜鱼的繁殖生物学[J]. 水生生物学报, 2018, 42(5): 1010-1018.

责任编辑: 罗慧敏
英文编辑: 罗维