

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.14488

## 黑龙江乌苏里白鲑的个体繁殖力

李培伦<sup>1,2</sup>, 刘伟<sup>1</sup>, 王继隆<sup>1</sup>, 战培荣<sup>1</sup>, 王臣<sup>1,2</sup>

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

**摘要:** 2013 年和 2014 年的 10–11 月, 在黑龙江抚远江段采集成熟度为 IV 期的雌性乌苏里白鲑(*Coregonus ussurinsis*) 133 尾, 鉴定年龄( $A$ ), 测量叉长( $L$ )、体重( $W$ )、净体重( $W_n$ )和卵巢重( $W_o$ )等生物学指标。计算了绝对繁殖力( $F$ )、叉长相对繁殖力( $F_L$ )、体重相对繁殖力( $F_W$ )、性成熟系数( $GSI$ )和肥满度( $K$ ), 并运用 6 种数学模型及多元线性逐步回归方程拟合了乌苏里白鲑个体繁殖力与生物学指标之间的关系。结果表明, 用于统计繁殖力的样本由 4<sup>+</sup>~8<sup>+</sup>龄 5 个年龄组组成, 乌苏里白鲑  $F$  分布范围在  $1.161 \times 10^4 \sim 5.921 \times 10^4$  粒, 平均为  $3.027 \times 10^4$  粒;  $F_L$  分布在 307.13~1119.4 eggs/cm, 平均为 622.5 eggs/cm;  $F_W$  分布在 19.81~56.98 eggs/g, 平均为 34.62 eggs/g。  $F$  与叉长、体重和年龄拟合度最高的函数分别为幂函数、线性函数和抛物线,  $F_L$  与叉长、体重和年龄分别为幂函数、幂函数和线性函数相关, 而  $F_W$  与叉长、体重和年龄无显著相关性,  $F_W$  只与卵巢重和性成熟系数具有一定的相关性, 且拟合度最高的方程均为幂函数。多元线性逐步回归分析表明, 乌苏里白鲑  $F$  与卵巢重、叉长和性成熟系数显著相关, 而  $F_L$  和  $F_W$  均受卵巢重和性成熟系数的显著影响, 从二者偏相关系数值来讲, 卵巢重与个体繁殖力( $F$ 、 $F_L$ 、 $F_W$ )之间的相关性均高于性成熟系数。

**关键词:** 乌苏里白鲑; 个体繁殖力; 黑龙江

中图分类号: X171

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)06-1234-09

鱼类个体繁殖力指性成熟雌鱼产卵期到来之前其卵巢内所含具有受精和发育能力的卵粒数<sup>[1-2]</sup>, 是对鱼类个体及种群繁殖潜能进行评估的基础。繁殖力是鱼类繁殖策略的重要体现, 种间差异和种内变动较大, 这种变动是在长期进化过程中适应外界环境条件的结果<sup>[3-4]</sup>。个体繁殖力作为鱼类种群繁殖力的重要指标, 主要由种的遗传特性决定, 同时受到外界环境条件及营养状况影响<sup>[5-6]</sup>。研究发现除上述因素外, 鱼体各项生物学指标与其繁殖力之间也存在着显著的相关性<sup>[7-9]</sup>。通过研究个体繁殖力与其生物学指标之间的关系不仅可以快速评估鱼类种群数量动态变化, 还可为渔业资源管理及保护提供重要的信息。

乌苏里白鲑(*Coregonus ussuriensis* Berg), 属鲑形目(Solmoniformes), 鲑科(Solmonidae), 白鲑亚科(Coregoninae), 白鲑属(*Salmo*), 俗称雅巴沙、兔子鱼, 为北极淡水鱼类区系复合体的鱼类, 主要分布于中国黑龙江、乌苏里江及俄罗斯西伯利亚、萨哈林等水域, 具有明显的溯河产卵习性<sup>[10]</sup>。其肉质细嫩, 味道鲜美, 营养价值高, 具有较高的经济价值和广阔的市场开发应用前景, 被列为中国黑龙江水系特产珍稀名贵冷水鱼<sup>[10-11]</sup>。近几十年来, 由于过度捕捞和生存环境恶化, 乌苏里白鲑的资源量呈明显的下降趋势, 已被列入《中国濒危动物红皮书(鱼类)》名录<sup>[12]</sup>。目前有关乌苏里白鲑的研究主要集中在资源调查、生物学特征、洄游

收稿日期: 2014-11-28; 修订日期: 2015-01-08.

基金项目: 农业部财政专项物种资源保护项目(2010–2015); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(HSY201513); 公益性行业(农业)科研专项(201303056-5).

作者简介: 李培伦(1989–), 研究实习员, 主要研究方向: 渔业资源生物学. E-mail: lp119890925@163.com

通信作者: 刘伟, 研究员. E-mail: liuwei\_1020@aliyun.com

群体结构、生化特点及遗传多样性等方面<sup>[13-16]</sup>, 而其繁殖生物学内容较少。本文对黑龙江中游抚远江段乌苏里白鲑的个体繁殖力及其生物学指标的关系进行了系统的研究, 旨在丰富其繁殖生物学内容, 并为开展种群资源保护和人工养殖提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本的采集

2013年和2014年的10-11月, 在黑龙江抚远江段采集乌苏里白鲑样本687尾, 采捕方式为三层流刺网(网目大小5~8 cm)。随机选取性腺发育处于IV期的雌性个体133尾, 作为个体繁殖力的统计样本。

### 1.2 观察与测量

对所有样本叉长(fork length,  $L$ )、体重(body weight,  $W$ )进行测定, 采集10~15枚鳞片在解剖镜下观察来鉴定年龄<sup>[13]</sup>, 解剖后称取净体重(net body weight,  $W_n$ )和卵巢重(ovary weight,  $W_o$ )。采用重量法计数繁殖力, 即在卵巢的前、中、后部各取0.5~1.5 g, 保存于10%福尔马林溶液中, 显微镜下统计所有已沉积卵黄的卵粒数, 取平均值计算所有个体的绝对繁殖力和相对繁殖力。

繁殖力及其他生物学指标之间的计算公式为:

绝对繁殖力  $F(\text{粒}) = \text{样品卵粒数} / \text{样品重量} \times \text{卵巢重}$ ;

叉长相对繁殖力(eggs/cm)  $F_L = F/L$ ;

体重相对繁殖力(eggs/g)  $F_W = F/W_n$ ;

性成熟系数(%)  $GSI = (W_o/W_n) \times 100$ ;

饱满度(g/cm)  $K = (W_n/L^3) \times 100$ ;

### 1.3 数据处理

采用6种数学模型(线性函数、幂函数、对数函数、指数函数、抛物线、倒数函数)和多元线性逐步回归方程对个体繁殖力与各生物学指标的关系进行拟合。数据处理采用Microsoft Excel 2007和SPASS 18.0软件, 选取相关系数( $R^2$ )最大者作为拟合型式。

## 2 结果与分析

### 2.1 乌苏里白鲑个体繁殖力与年龄的关系

根据表1, 用于测定繁殖力的133尾雌性样本中, 由4<sup>+</sup>~8<sup>+</sup>龄5个年龄组组成, 其中以5<sup>+</sup>、6<sup>+</sup>龄

为主, 分别占总样本数的33.83%和37.59%, 而其他年龄组所占比例较小。乌苏里白鲑雌性个体最小性成熟年龄为4<sup>+</sup>, 该龄组叉长范围为36.5~45.6 cm, 平均值为(39.97±2.47) cm, 体重范围为512.7~956.7 g, 平均值为(741.79±123.33) g。乌苏里白鲑个体繁殖力( $F$ 、 $F_L$ 、 $F_W$ )均随着年龄的增长而逐渐提高, 将5个年龄组的繁殖力分别进行单因素方差分析, 结果得到各年龄组之间的 $F_W$ 存在显著性差异 $[F_{(4, 128)}=2.532, P<0.05]$ ; 而各年龄组之间的 $F$ 和 $F_L$ 均存在极显著性差异 $[F_{(4, 128)}=47.86, P<0.001; F_{(4, 128)}=31.267, P<0.001]$ 。

通过比较各年龄组的总怀卵量可以估算出各个年龄组对种群补充的贡献率, 表1显示, 6<sup>+</sup>龄组的繁殖贡献率最大, 约占繁殖群体总繁殖力的2/5, 其次为5<sup>+</sup>龄组, 约占繁殖群体总繁殖力的1/3, 高贡献率可归因于这两个年龄组显著的数量优势。7<sup>+</sup>龄组的贡献率为16.57%, 而4<sup>+</sup>、8<sup>+</sup>龄组的贡献率相近, 各为7%左右。4<sup>+</sup>龄组的样本量较多, 而8<sup>+</sup>龄组的个体绝对繁殖力较大, 使得其与4<sup>+</sup>龄组的贡献率相当。7<sup>+</sup>龄组的样本量与4<sup>+</sup>龄组相当, 贡献率却高出10%左右, 显示了绝对繁殖力的巨大增长潜力, 保持一定规模的高龄组作为补充群体对于扩大乌苏里白鲑种群的繁殖规模具有十分重要的意义。

### 2.2 乌苏里白鲑个体繁殖力的分布

由图1可以看出, 乌苏里白鲑个体绝对繁殖力( $F$ )分布在 $1.161 \times 10^4 \sim 5.921 \times 10^4$ 粒, 平均为 $3.027 \times 10^4$ 粒, 其中79.7%主要分布在 $1.5 \times 10^4 \sim 4.0 \times 10^4$ 粒; 叉长相对繁殖力( $F_L$ )分布在307.13~1119.4 eggs/cm, 平均为622.5 eggs/cm, 其中81.95%主要分布在400~800 eggs/cm; 体重相对繁殖力( $F_W$ )分布在19.81~56.98 eggs/g, 平均为34.62 eggs/g, 其中84.21%主要分布在23~43 eggs/g。整体来讲, 乌苏里白鲑 $F$ 与 $F_W$ 分布较集中, 而 $F_L$ 分布比较分散。

### 2.3 乌苏里白鲑个体繁殖力与各单一指标之间的关系

为了研究乌苏里白鲑个体繁殖力与各单一指标之间的关系, 将个体繁殖力( $F$ 、 $F_L$ 、 $F_W$ )与叉长、

表 1 黑龙江抚远江段乌苏里白鲑生物学指标和个体繁殖力特征

Tab. 1 Characteristics of the biological indices and individual fecundity of *Coregonus ussurinsis* in Fuyuan section of Heilongjiang River

| 项目 item                                            |                         | 年龄 age         |                |                |                |                |
|----------------------------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                                    |                         | 4 <sup>+</sup> | 5 <sup>+</sup> | 6 <sup>+</sup> | 7 <sup>+</sup> | 8 <sup>+</sup> |
| 样本数 sample number                                  |                         | 15             | 45             | 50             | 17             | 6              |
| 叉长 $L/\text{cm}$                                   | 范围 range                | 36.5~45.6      | 38.4~49.5      | 41.6~51.2      | 44.3~54.1      | 49.8~52.9      |
|                                                    | $\bar{x} \pm \text{SD}$ | 39.97±2.47     | 43.19±2.27     | 46.16±1.94     | 48.62±2.626    | 50.87±1.31     |
| 体重 $W/\text{g}$                                    | 范围 range                | 512.7~956.7    | 664.7~1353.7   | 846.5~1597.3   | 904.5~1789.4   | 1556.8~1976.4  |
|                                                    | $\bar{x} \pm \text{SD}$ | 741.79±123.33  | 959.65±145.66  | 1212.2±175.63  | 1404.9±248.63  | 1731.4±181.51  |
| 净体重 $W_n/\text{g}$                                 | 范围 range                | 423.5~758.9    | 537.8~1080.3   | 608.4~1233.5   | 671.5~1403.2   | 1192.2~1506.8  |
|                                                    | $\bar{x} \pm \text{SD}$ | 594.7±97.2     | 754.9±118.7    | 933.4±130.6    | 1076.2±200.6   | 1316.9±108.9   |
| 卵巢重 $W_o/\text{g}$                                 | 范围 range                | 62.5~167.2     | 87.1~251.1     | 110.5~351.9    | 200.3~425.1    | 303.9~474.2    |
|                                                    | $\bar{x} \pm \text{SD}$ | 111.1±31.96    | 155.2±37.06    | 225.6±48.05    | 279.3±68.4     | 356.1±68.5     |
| 性成熟系数 $\text{GSI}/\%$                              | 范围 range                | 13.36~25.89    | 12.22~30.71    | 13.59~31.76    | 17.37~43.79    | 24.23~34.62    |
|                                                    | $\bar{x} \pm \text{SD}$ | 18.63±4.26     | 20.66±4.38     | 24.17~3.83     | 26.31±6.09     | 26.94±3.88     |
| 肥满度 $K/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$            | 范围 range                | 0.7597~1.0984  | 0.7729~1.0554  | 0.7938~1.1103  | 0.7745~1.1     | 0.9094~1.0716  |
|                                                    | $\bar{x} \pm \text{SD}$ | 0.9272±0.079   | 0.9317±0.066   | 0.9447±0.067   | 0.9278±0.095   | 1.0006±0.067   |
| 个体绝对繁殖力 $F/(\times 10^4 \text{ eggs})$             | 范围 range                | 1.161~2.726    | 1.366~3.949    | 1.959~4.971    | 2.256~5.115    | 4.721~5.921    |
|                                                    | $\bar{x} \pm \text{SD}$ | 1.835±0.53     | 2.501±0.605    | 3.295±0.689    | 3.983±0.778    | 5.173±0.413    |
| 叉长相对繁殖力 $F_L/(\text{eggs} \cdot \text{cm}^{-1})$   | 范围 range                | 307.1~684.9    | 346.7~914.2    | 452.6~1050.7   | 495.8~972.6    | 929.4~1119.4   |
|                                                    | $\bar{x} \pm \text{SD}$ | 456.3±118.5    | 577.8±133.2    | 711.9±136.2    | 803.9±123.8    | 1000.7±72.6    |
| 体重相对繁殖力 $F_W/(\text{eggs} \cdot \text{g}^{-1})$    | 范围 range                | 21.07~47.96    | 19.81~52.25    | 21.18~56.98    | 27.09~53.51    | 33.29~43.23    |
|                                                    | $\bar{x} \pm \text{SD}$ | 30.8±7.19      | 34.53±8.02     | 35.49±6.74     | 37.03±6.8      | 38.79±3.38     |
| 总繁殖力 $/(\times 10^4 \text{ eggs})$ total fecundity |                         | 27.52601       | 112.5542       | 164.7436       | 66.7123        | 31.037         |
| 贡献率 $/\%$ proportion                               |                         | 6.8375         | 27.9587        | 40.9226        | 16.5715        | 7.7097         |

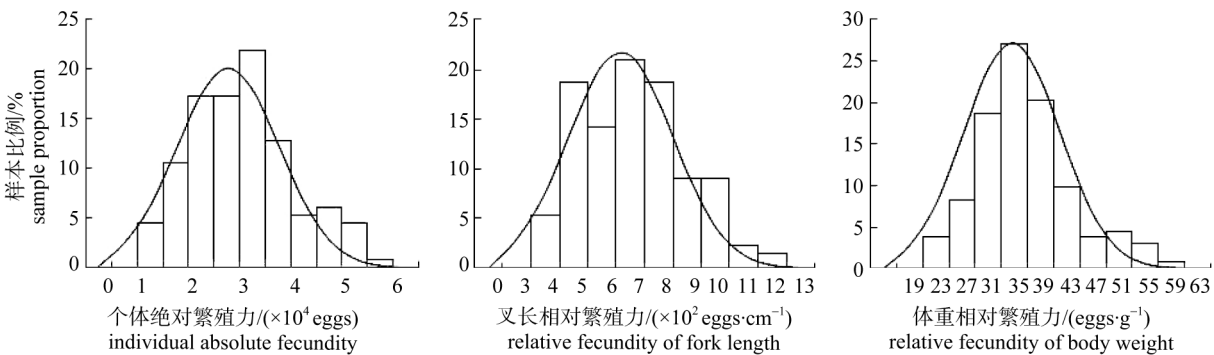


图 1 黑龙江抚远江段乌苏里白鲑个体繁殖力分布

Fig. 1 Distribution of *Coregonus ussurinsis* individual fecundity in Fuyuan section of Heilongjiang River

体重、肥满度等 8 个指标分别用 6 种数学模型进行拟合, 筛选出拟合度最高的函数关系( $P<0.01$ )。从表 2 可以看出, 乌苏里白鲑  $F$ 、 $F_L$  与叉长拟合度最好的方程均为幂函数, 与体重拟合度最好的方程分别为线性函数和幂函数, 且  $F$ 、 $F_L$  与体重相关系数均高于  $F$ 、 $F_L$  与叉长的相关系数, 表明乌苏里白鲑个体繁殖力( $F$ 、 $F_L$ )与其体重之间的关系较其叉长更为密切, 随着体重的上升, 个体繁

殖力( $F$ 、 $F_L$ )呈现出增长的趋势。其中  $F$ 、 $F_L$  均与卵巢重拟合度最高, 其次是体重, 而  $F_W$  只与性成熟系数和卵巢重具有相关性, 且复相关系数较低, 分别为 0.488、0.281。此外, 从表 2 还可以看出乌苏里白鲑个体繁殖力( $F$ 、 $F_L$ 、 $F_W$ )与肥满度相关性均不显著( $P>0.05$ )。图 2 显示, 乌苏里白鲑个体繁殖力( $F$ 、 $F_L$ )与叉长和体重之间的关系, 图中趋势线为拟合度最好的方程。

表 2 黑龙江抚远江段乌苏里白鲟个体繁殖力与各单一指标的回归方程  
Tab. 2 Regressive equations between individual fecundity and single index of *Coregonus ussurinsis* in Fuyuan section of Heilongjiang River

| 指标 index                  | 个体繁殖力 individual fecundity    |                                 |                                |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|                           | $F$ /eggs                     | $F_L$ /(eggs·cm <sup>-1</sup> ) | $F_W$ /(eggs·g <sup>-1</sup> ) |
| 叉长/cm                     | $F=0.051L^{3.48}$             | $F_L=0.053L^{2.467}$            |                                |
| fork length ( $L$ )       | $R^2=0.641 \quad P<0.01$      | $R^2=0.476 \quad P<0.01$        | $P>0.05$                       |
| 体重/g                      | $F=28.96W-2220$               | $F_L=2.072W^{0.819}$            |                                |
| body weight ( $W$ )       | $R^2=0.713 \quad P<0.01$      | $R^2=0.572 \quad P<0.01$        | $P>0.05$                       |
| 年龄/a                      | $F=661.6A^2+8468$             | $F_L=126.5A-52.94$              |                                |
| age ( $A$ )               | $R^2=0.593 \quad P<0.01$      | $R^2=0.488 \quad P<0.01$        | $P>0.05$                       |
| 净体重/g                     | $F=36.86W_n-1803$             | $F_L=0.577W_n+159.8$            |                                |
| net body weight ( $W_n$ ) | $R^2=0.636 \quad P<0.01$      | $R^2=0.480 \quad P<0.01$        | $P>0.05$                       |
| 叉长×体重                     | $F=2.723(L \times W)^{0.858}$ | $F_L=0.732(L \times W)^{0.627}$ |                                |
| $L \times W$              | $R^2=0.709 \quad P<0.01$      | $R^2=0.559 \quad P<0.01$        | $P>0.05$                       |
| 卵巢重/g                     | $F=391.4W_o^{0.82}$           | $F_L=21.07W_o^{0.651}$          |                                |
| ovary weight ( $W_o$ )    | $R^2=0.868 \quad P<0.01$      | $R^2=0.808 \quad P<0.01$        | $R^2=0.281 \quad P<0.01$       |
| 性成熟系数/%                   | $F=1170GSI^{1.031}$           | $F_L=38.44GSI^{0.906}$          |                                |
| gonad somatic index (GSI) | $R^2=0.464 \quad P<0.01$      | $R^2=0.529 \quad P<0.01$        | $R^2=0.488 \quad P<0.01$       |
| 肥满度/%                     | $P>0.05$                      | $P>0.05$                        | $P>0.05$                       |
| relative fitness ( $K$ )  |                               |                                 |                                |

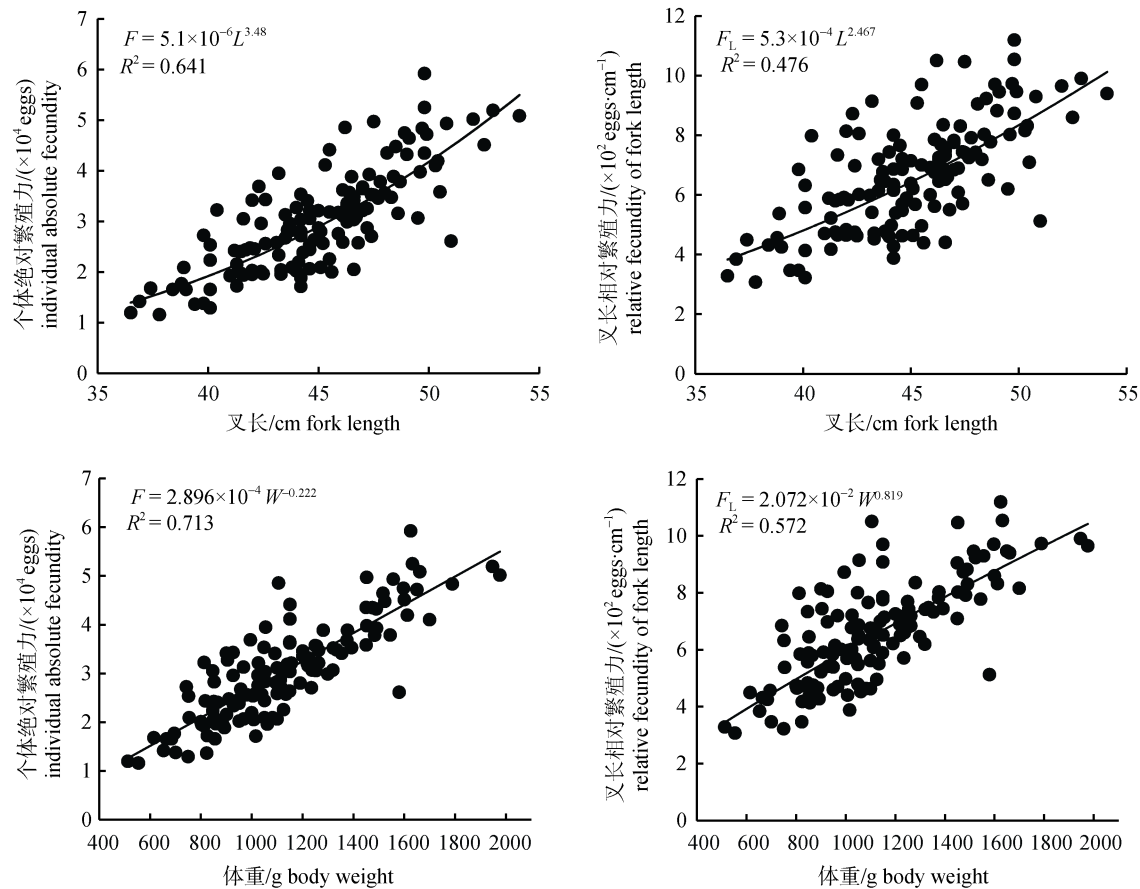


图 2 黑龙江抚远江段乌苏里白鲟个体繁殖力与叉长和体重的关系  
Fig. 2 Relationship between the individual fecundity and fork length, body weight of *Coregonus ussurinsis* in Fuyuan section of Heilongjiang River

研究发现乌苏里白鲑个体繁殖力与各形态指标之间存在多种数学模型表达式,且具有一定的相关性。叉长、体重和年龄作为生物学研究中的 3 个重要

指标,除表 2 所列模型表达式以外,表 3 中列举了其他 3 种相关性较高的表达式( $n=133$ ,  $P<0.01$ )。总体来讲, $F$  与叉长、体重和年龄之间的相关性均高于  $F_L$ 。

表 3 黑龙江抚远江段乌苏里白鲑个体繁殖力与叉长、体重和年龄的回归方程

Tab. 3 Regressive equations between individual fecundity and fork length, body weight and age of *Coregonus ussurinsis* in Fuyuan section of Heilongjiang River

| 指标 index            | $F/\text{eggs}$        | $R^2$ | $F_L/(\text{eggs}\cdot\text{cm}^{-1})$ | $R^2$ |
|---------------------|------------------------|-------|----------------------------------------|-------|
| 叉长/cm               | $F=863.4\times 1.08^L$ | 0.638 | $F_L=53.38\times 1.0565^L$             | 0.472 |
| fork length ( $L$ ) | $F=24.92L^2-20508$     | 0.628 | $F_L=34.63L-895.6$                     | 0.460 |
|                     | $F=2234L-70262$        | 0.623 | $F_L=0.385L^2-121.7$                   | 0.460 |
| 体重/g                | $F=12.09W^{1.111}$     | 0.711 | $F_L=0.464W+141.3$                     | 0.564 |
| body weight ( $W$ ) | $F=31903\ln W-19271$   | 0.697 | $F_L=515.8\ln W-2942$                  | 0.560 |
|                     | $F=0.011W+14482$       | 0.691 | $F_L=283.8\times 1.0001^W$             | 0.550 |
| 年龄/a                | $F=7719A-13376$        | 0.590 | $F_L=10.79A^2+307$                     | 0.485 |
| age ( $A$ )         | $F=2277A^{1.474}$      | 0.575 | $F_L=94.4A^{1.112}$                    | 0.483 |
|                     | $F=42765\ln A-43159$   | 0.574 | $F_L=704.8\ln A-547.7$                 | 0.479 |

## 2.4 乌苏里白鲑个体繁殖力与各生物学指标之间的多元回归

对 133 尾乌苏里白鲑的个体繁殖力( $F$ 、 $F_L$ 、 $F_W$ )分别与叉长、体重、年龄、净体重、叉长×体重、卵巢重、性成熟系数及肥满度等 8 项指标进行多元线性回归分析。利用 SPASS 软件,首先进行多元线性回归分析获得全回归方程,通过对比个体繁殖力与生物学指标以及生物学指标之间的相关性,剔除部分指标,然后对个体繁殖力与其余生物学指标进行多元线性逐步回归分析,筛选出对个体繁殖力影响显著的指标,建立标准化回归方程。

个体绝对繁殖力( $F$ )与各项指标之间回归分析的全回归方程为:

$$F=35566.792+409.287A-547.744L+1.885W+65.661W_n+120.134W_o+193.94GSI-34700.683K-0.745L\times W \quad (R^2=0.85, P<0.001)$$

最终获得的标准化回归方程为:

$$F=-20762.971+83.112W_o+620.86L+279.02GSI \quad (R^2=0.842, P<0.01)$$

对于参选的 8 个指标来说,卵巢重( $W_o$ )、叉长( $L$ )和性成熟系数( $GSI$ )与绝对繁殖力( $F$ )密切相关,且均与绝对繁殖力( $F$ )呈正相关,其偏相关系数分别为 0.596、0.290 和 0.254。

叉长相对繁殖力( $F_L$ )与各项指标之间回归

分析的全回归方程为:

$$F_L=834.074+2.041A-12.483L+0.469W+1.413W_n+2.656W_o+5.345GSI-742.323K-0.026L\times W \quad (R^2=0.793, P<0.001)$$

最终获得的标准化回归方程为:

$$F_L=144.098+1.709W_o+7.644GSI \quad (R^2=0.775, P<0.001)$$

参选的 8 个指标中,只有卵巢重( $W_o$ )和性成熟系数( $GSI$ )入选标准化方程,且与  $F_L$  呈正相关,其偏相关系数分别为 0.771 和 0.334。

体重相对繁殖力( $F_W$ )与各项指标之间回归分析的全回归方程为:

$$F_W=60.388-0.201A-0.25L-0.014W+0.035W_n+0.135W_o+0.438GSI-42.357K-0.001L\times W \quad (R^2=0.654, P<0.001)$$

最终获得的标准化回归方程为:

$$F_W=46.207+0.476GSI+0.115W_o-24.881K+0.0001L\times W \quad (R^2=0.636, P<0.001)$$

参选的 8 个指标中,性成熟系数( $GSI$ )、卵巢重( $W_o$ )、叉长( $L$ )×体重( $L\times W$ )和肥满度( $K$ )入选,且  $GSI$  和  $W_o$  与  $F_W$  呈正相关,其偏相关系数分别为 0.366 和 0.566,而  $K$  和  $L\times W$  与  $F_W$  呈负相关,其偏相关系数分别为-0.373 和-0.556。

## 3 讨论

### 3.1 乌苏里白鲑个体繁殖力特征

繁殖力作为物种或种群对环境的适应特征,

是遗传和环境共同作用的结果, 具有种属的特性。黑龙江乌苏里白鲑个体绝对繁殖力( $F$ )分布在  $1.161 \times 10^4 \sim 5.921 \times 10^4$  粒, 与其他鲑科鱼类相比, 欧白鲑(*Coregonus albula*)<sup>[17]</sup>个体绝对繁殖力小于乌苏里白鲑, 为  $0.478 \times 10^4 \sim 2.46 \times 10^4$  粒, 高白鲑(*Coregonus peled*)<sup>[18]</sup>个体绝对繁殖力大于乌苏里白鲑, 平均值可达  $9.4 \times 10^4$  粒, 表明鲑科鱼类同属不同种之间个体绝对繁殖力相差较大, 这可能与性成熟年龄、个体大小、卵径大小、栖息水域环境及营养状况等因素有关。体重相对繁殖力一般可以体现鱼类的繁殖策略, 产小粒卵的鱼类孵化出的仔鱼个体小, 成活率低, 一般通过产下大量的卵来维持种群数量稳定; 相反, 产大粒卵的鱼类孵化出的仔鱼个体较大, 成活率高, 体重相对繁殖力相对较小<sup>[19]</sup>。乌苏里白鲑体重相对繁殖力( $F_W$  为  $19.81 \sim 56.98$  eggs/g, 卵径为  $2.12 \sim 2.65$  mm), 与欧白鲑( $F_W$  为  $64.6 \sim 116.09$  eggs/g)<sup>[17]</sup>、高白鲑( $F_W$  约  $311$  eggs/g, 卵径  $1.6$  mm)<sup>[18]</sup>等白鲑属鱼类相比较低, 而高于哲罗鱼 [*Hucho taimen*,  $F_W$  约  $1.1$  eggs/g, 卵径  $(5.16 \pm 0.19)$  mm]<sup>[20]</sup>、细鳞鱼 (*Brachymystax lenok*,  $F_W$  为  $1.38 \sim 5.37$  eggs/g, 卵径  $2.20 \sim 3.37$  mm)<sup>[21]</sup>等其他鲑科鱼类, 说明鲑科鱼类相对繁殖力受卵巢中卵粒直径影响较大, 推测其卵径越大, 怀卵量相对减少, 随之体重相对繁殖力越小, 具体有待于进一步深入研究。

### 3.2 个体繁殖力与生物学指标之间的关系

研究表明, 鱼类个体繁殖力与其生物学指标之间存在显著地相关性。本研究发现乌苏里白鲑的  $F$  和  $F_L$  与叉长、体重、卵巢重、叉长 $\times$ 体重的关系密切, 而  $F_W$  只与性成熟系数和卵巢重相关, 与其他生物学指标之间的相关性不显著, 这一结果与大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)<sup>[1]</sup>、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)<sup>[8]</sup>、细鳞鲌(*Xenocypris icrollepis*)<sup>[22]</sup>等鱼类的研究结果基本一致。

研究发现, 鱼类个体绝对繁殖力或与其体长、体重呈抛物线关系, 如黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)<sup>[23]</sup>、光唇裂腹鱼(*Schizothorax lisolabiatus*)<sup>[24]</sup>等; 或与鱼的体长、体重呈幂函数相关, 如翘嘴鲌(*Culter alburnus*)<sup>[8]</sup>、银鲈(*Chrysichthys*

*nigrodigitatus*)<sup>[25]</sup>、切尾拟鲌(*Pseudobagrus truncatus*)<sup>[26]</sup>等; 或者与鱼的体长呈幂函数、与体重呈线性关系, 如银鲈(*Stromateoides argenteus*)<sup>[27]</sup>、太湖新银鱼(*Neosalanx taihuensis*)<sup>[28]</sup>、巴西油鲱(*Brevoortia aurea*)<sup>[29]</sup>等; 或者与鱼的体长呈抛物线、与体重呈幂函数关系, 如青梢鲌(*Culter dabryi*)<sup>[30]</sup>。在本研究中采用 6 种数学模型拟合乌苏里白鲑个体繁殖力与其生物学指标之间的关系, 发现多种数学模型与各指标模拟出的结果均呈现出显著性相关, 其中  $F$  与叉长、体重和年龄拟合度最高的函数分别为幂函数、线性函数和抛物线,  $F_L$  与叉长、体重和年龄拟合度最高的函数分别为幂函数、幂函数和线性函数相关, 而  $F_W$  与它们无显著相关性,  $F_W$  只与卵巢重和性成熟系数相关, 且拟合度最高的方程均为幂函数。单个指标与个体繁殖力的拟合结果显示, 乌苏里白鲑个体繁殖力( $F$ 、 $F_L$ )与叉长、体重、卵巢重等指标均有较高的相关性, 但是这种拟合方式往往具有局限性, 为了更好地描述各生物学指标与个体繁殖力的关系, 本文综合各项生物学指标, 对乌苏里白鲑个体繁殖力进行多元线性逐步回归分析, 最终获得的标准化回归方程表明: 乌苏里白鲑  $F$  受卵巢重、叉长和性成熟系数的显著影响, 而  $F_L$ 、 $F_W$  均受卵巢重和性成熟系数的显著影响, 从二者偏相关系数值来讲, 卵巢重与个体繁殖力( $F$ 、 $F_L$ 、 $F_W$ )之间的相关性要高于性成熟系数。因此, 卵巢重和叉长是衡量黑龙江乌苏里白鲑个体繁殖力的可靠指标, 但在实际调研过程中, 往往采用更加直观便捷的指标来预测繁殖力, 可以用叉长与绝对繁殖力之间的关系来估算乌苏里白鲑的种群繁殖力。

### 3.3 乌苏里白鲑资源保护及利用

乌苏里白鲑是黑龙江中重要的经济鱼类, 目前其资源量严重下降, 因此开展乌苏里白鲑资源保护刻不容缓。董崇智等<sup>[13]</sup>的研究结果表明, 乌苏里白鲑雌性最小性成熟年龄为  $5^+$  ( $L=38$  cm,  $W=700$  g), 本研究发现乌苏里白鲑性成熟年龄提前, 性成熟规格变小, 少量  $4^+$  龄雌鱼 ( $L=36.5$  cm,  $W=512.7$  g) 已参与繁殖。从表 1 可以看出, 乌苏里白鲑捕捞群体主要集中在  $5^+$ 、 $6^+$  龄, 而这两个年

龄组对种群繁殖力的贡献率很高, 由于该物种具有高贡献率的群体受到大肆捕捞, 进而使得其种群繁殖能力大为减弱, 导致数量得不到足够的补充。针对乌苏里白鲑在黑龙江的资源现状, 需要制定相关保护措施, 以保证这一珍稀名贵物种的可持续开发利用: 首先, 应加强对种群繁殖力贡献率高的 5<sup>+</sup>、6<sup>+</sup> 龄组群体的保护, 缩减其捕捞量, 捕捞群体规格应限制在 7<sup>+</sup> 龄及以上, 叉长大于 44 cm 的群体; 其次, 在乌苏里白鲑繁殖盛期(10 月中旬至 1 月下旬)实行禁捕, 设立自然保护江段, 保证其洄游期间顺利繁殖; 最后, 积极开展驯化繁育和人工养殖。

#### 参考文献:

- [1] Zheng W L, Xu G Z. On the peculiarities of the individual fecundity of the large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* (Richardson), off Kuanching-Yang, Fukien[J]. Journal of Fisheries of China, 1962, 1(1-2): 1-17. [郑文莲, 徐恭昭. 福建官井洋大黄鱼个体生殖力的研究[J]. 水产学报, 1964, 1(1-2): 1-17.]
- [2] Bagenal T B, Braum E. Eggs and Early Life History[M]// Methods of Assessment of Fish Production in Fresh Waters. Oxford: Blackwell Scientific Press, 1978: 165-201.
- [3] Pitcher T J, Hart P J B. Fisheries Ecology[M]. London: Croom Helm Press, 1982: 416.
- [4] Murua H, Saborido-Rey F. Female reproductive strategies of marine fish species of the North Atlantic[J]. J Northw Atl Fish Sci, 2003, 33: 23-31.
- [5] Witthames P R, Walker M G, Dinis M T, et al. The geographical variation in the potential annual fecundity of dover sole, *Solea solea* (L). from European shelf waters during 1991[J]. Neth J Sea Res, 1995, 34(1-3): 45-58.
- [6] Thorsen A, Witthames P R, Marteinsdóttir G, et al. Fecundity and growth of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) along a latitudinal gradient[J]. Fish Res, 2010, 104(1-3): 45-55.
- [7] He Z T, Zhou Y D, Xu K D, et al. Analyzing on the relationship between the individual fecundity and the biological indicators of *Muraenesox cinereus* (Forsk.)[J]. Marine Fisheries, 2007, 29(2): 134-139. [贺舟挺, 周永东, 徐开达, 等. 海鳗个体繁殖力与生物学指标的关系分析[J]. 海洋渔业, 2007, 29(2): 134-139.]
- [8] Qin L, Xiong B X, Lü G J. Individual fecundity of *Culter alburnus* in Xujiuhe Reservoir of China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(8): 1952-1957. [覃亮, 熊邦喜, 吕光俊. 徐家河水库翘嘴鲌的个体生殖力[J]. 应用生态学报, 2009, 20(8): 1952-1957.]
- [9] Li Q, Lan Z J, Zhao J, et al. Study on individual fecundity of *Opsariichthys bidens* of the Beijiang River in Guangdong Province[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2010, 29(3): 440-445. [李强, 兰昭君, 赵俊, 等. 广东北江马口鱼个体生殖力研究[J]. 四川动物, 2010, 29(3): 440-445.]
- [10] Zhang J M. Heilongjiang Province Ichthyography[M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1995: 56-58. [张觉民. 黑龙江省鱼类志[M]. 哈尔滨: 黑龙江科技出版社, 1995: 56-58.]
- [11] Xie Y H. China: The Freshwater Fishes of the Northeast Area[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House, 2007: 322-325. [解玉浩. 东北地区淡水鱼类[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2007: 322-325.]
- [12] Yue P Q, Chen Y Y. China Red Data Book of Endangered animals (Pisces)[M]. Beijing: Science Press, 1998. [乐佩琪, 陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书(鱼类)[M]. 北京: 科学出版社, 1998.]
- [13] Dong C Z, Xia Z Z, Jiang Z F, et al. The tentative studies on reproduction population structure of *Coregonus ussuriensis* Berg[J]. Chinese Journal of Fisheries, 1997, 10(1): 14-21. [董崇智, 夏重志, 姜作发, 等. 黑龙江乌苏里白鲑生殖群体生态学特征及资源保护[J]. 水产学杂志, 1997, 10(1): 14-21.]
- [14] Ma B, Shi L Y, Dong C Z. Biochemical genetic structure in *Coregonus ussuriensis* Berg[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(3): 195-200. [马波, 石连玉, 董崇智. 乌苏里白鲑的生化遗传结构[J]. 中国水产科学, 2003, 10(3): 195-200.]
- [15] Liang L Q, Chang Y M, Dong C Z. Analysis of genetic diversity for *Coregonus ussuriensis* Berg in Heilongjiang River[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(6): 501-505. [梁丽群, 常玉梅, 董崇智. 黑龙江乌苏里白鲑遗传多样性分析[J]. 中国水产科学, 2004, 11(6): 501-505.]
- [16] Yu D M, Ma B, Sun Y H, et al. Isolation and characterization of 16 microsatellite loci in an endangered fish Ussuri cisco, *Coregonus ussuriensis*[J]. Conserv Genet, 2010, 11(3): 1107-1109.
- [17] Czerniejewski P, Wawrzyniak W. Fecundity of vendace, *Coregonus albula* (L.), from several lakes in Western Pomerania[J]. Arch Pol Fish, 2008, 16(2): 135-146.
- [18] Zhang R M, Cai L G, Tu E X, et al. Observation on the gonadal development of *Coregonus peled* in the Salimu Lake[J]. Freshwater Fisheries, 2001, 31(6): 55-57. [张人铭, 蔡林钢, 吐尔逊, 等. 赛里木湖高白鲑性腺发育观测[J]. 淡水渔业, 2001, 31(6): 55-57.]
- [19] 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]. J Appl Ichthyol, 2011, 27(6): 1332–1336.
- [20] Li S G, Ren D B, Shi C M. The reproductive biology of *Hucho taimen*[J]. Reservoir Fisheries, 2006, 26(6): 44–45. [李树国, 任大宾, 石春梅. 哲罗鱼的繁殖生物学[J]. 水利渔业, 2006, 26(6): 44–45.]
- [21] Bai Q L, Mou Z B, Yu H X, et al. The detection of the biological characters and productivity of *Brachymystax lenok*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2007, 20(1): 69–73. [白庆利, 牟振波, 于洪贤, 等. 野生细鳞鱼的生物学特性及繁殖力[J]. 水产学杂志, 2007, 20(1): 69–73.]
- [22] Wang Y D, Xiong B X, Ma X F, et al. Study on fecundity of *Xenocypris microlepis* in Daoguanhe Reservoir, Hubei Province[J]. Journal of Lake Science, 2004, 16(2): 178–184. [王银东, 熊邦喜, 马徐发, 等. 湖北道观河水库细鳞鲴的个体生殖力[J]. 湖泊科学, 2004, 16(2): 178–184.]
- [23] Zhang L, Li J, Ding Y X, et al. Study on individual fecundity of *Pelteobagrus fulvidraco*[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2012, 18(11): 164–171. [张乐, 李皎, 丁悦秀, 等. 黄颡鱼个体繁殖力的研究[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(11): 164–171.]
- [24] Xiao H, Dai Y G. Study on individual fecundity of *Schizothorax lissolabiatus* in Beipan River[J]. Journal of Hydroecology, 2010, 3(3): 64–69. [肖海, 代应贵. 北盘江光唇裂腹鱼个体繁殖力研究[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(3): 64–69.]
- [25] Ekanem S B. Some reproductive aspects of *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacépède) from Cross River, Nigeria[J]. Naga, 2000, 23(2): 24–28.
- [26] Zou Y C, Yue X J, Wang Y M, et al. Fecundity of individual fish *Pseudobagrus truncates*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2014, 49(4): 570–578. [邹远超, 岳兴建, 王永明, 等. 切尾拟鲿的个体生殖力[J]. 动物学杂志, 2014, 49(4): 570–578.]
- [27] Ni H E, Gong Q X. A study of individual fecundity of silver pomfret *Stromateoides argenteus* from the East China sea[J]. Journal of Zhejiang College of Fisheries, 1995, 14(2): 118–122. [倪海儿, 龚启祥. 东海银鲧个体生殖力研究[J]. 浙江水产学院学报, 1995, 14(2): 118–122.]
- [28] Gong S Y, Luo Z B, Liu J. Individual fecundity of *Neosalanx taihuensis* in Fushui Reservoir of China[J]. Reservoir Fisheries, 1999, 19(2): 36–38. [龚世元, 罗作兵, 刘军. 富水水库太湖新银鱼个体繁殖力研究[J]. 水利渔业, 1999, 19(2): 36–38.]
- [29] Macchi G J, Acha E M. Spawning frequency and batch fecundity of Brazilian menhaden, *Brevoortia aurea*, in the Rio de la Plata estuary off Argentina and Uruguay[J]. Fish Bull, 2000, 98(2): 283–289.
- [30] Wang Y D, Xiong B X, Ma X F, et al. Fecundity of *Culter dabryi* in Daoguanhe Reservoir, Wuhan, China[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2007, 38(2): 180–186. [王银东, 熊邦喜, 马徐发, 等. 湖北道观河水库青梢鮠 (*Culter dabryi*)的个体生殖力[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(2): 180–186.]

## Fecundity of *Coregonus ussuriensis* in the Heilongjiang River, China

LI Peilun<sup>1,2</sup>, LIU Wei<sup>1</sup>, WANG Jilong<sup>1</sup>, ZHAN Peirong<sup>1</sup>, WANG Chen<sup>1,2</sup>

1. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

**Abstract:** Fecundity of *Coregonus ussuriensis*, collected during October and November 2013–2014 in the Heilongjiang River, China, was studied. Fish age was determined by scales, fork length, body weight, net body weight, and ovarian weight. The ages of the specimens were 5<sup>+</sup>–8<sup>+</sup> years. Individual absolute fecundity was determined by the gravimetric method and was used to calculate relative fecundity per centimeter, relative fecundity per gram, gonadosomatic index, relative fatness, and other indices. Individual fish absolute fecundity was  $1.161 \times 10^4$ – $5.921 \times 10^4$  eggs (mean,  $3.027 \times 10^4$  eggs). Relative fecundity per centimeter was 307.13–1119.37 eggs/cm (mean, 622.5 eggs/cm). Relative fecundity per gram was 19.81–56.98 eggs/g (mean, 34.62 eggs/g). The relationships between absolute fecundity and fork length, body weight, and age were regressed with a power function, linear equation, and a parabola. The relationships between relative fecundity per centimeter and fork length, body weight, and age were described by a power function and a power function and linear equation. Relative fecundity per gram was not correlated with fork length, body weight, or age but was correlated with gonadosomatic index and ovarian weight, using the power function as the best fit. A multiple regression analysis revealed that individual absolute fecundity was significantly correlated with ovarian weight and fork length, while relative fecundity per centimeter and relative fecundity per gram were significantly correlated with ovarian weight and gonadosomatic index. The correlation between individual fecundity and ovarian weight was higher than that with the gonadosomatic index based on the partial correlation coefficient.

**Key words:** *Coregonus ussuriensis*; individual fecundity; the Heilongjiang River

**Corresponding author:** LIU Wei. E-mail: liuwei\_1020@aliyun.com