

doi: 10.7541/2020.005

额尔齐斯河流域不同来源哲罗鲑形态及CO I 基因比较研究

郭爱民¹ 喀迪尔丁·艾尔肯¹ 焦丽¹ 郝翠兰¹ 陈琳² 潘国强³ 谢志胜¹
张文润¹ 容梦婕¹ 岳城¹

(1. 新疆农业大学动物医学学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆众力洋渔业科技有限公司, 乌鲁木齐 830052;

3. 布尔津县额河特冷水鱼繁育开发有限公司, 布尔津 836600)

摘要: 为对哲罗鲑(*Hucho*)的引种放流和土著物种的保护提供科学依据, 研究采集了数尾来源于天然水域的哲罗鲑(*Hucho* BHB和*Hucho* BEJ), 与引进的哲罗鲑(*Hucho* HLJ)一起进行了形态特点观察描述, 同时对CO I 基因扩增测序并从GenBank下载哲罗鲑属CO I 基因构建系统发育树、计算遗传距离进行分子生物学比较研究。结果显示, *Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ形态特点相一致, *Hucho* BHB与其他两种来源的哲罗鲑在体色、斑点大小等均有差异。基于CO I 基因的系统发育树显示几种不同来源的哲罗鲑均与太门哲罗鲑(*H. taimen*)聚为一个大的分枝, 但在这个分枝下, *Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ与俄罗斯阿穆尔河(中国称黑龙江)的哲罗鲑聚为一枝, 而*Hucho* BHB单独形成一支。基于CO I 基因的遗传矩阵显示, *Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ与俄罗斯阿穆尔河的哲罗鲑遗传距离较近(0—0.0044), 而*Hucho* BHB与*Hucho* BEJ、*Hucho* HLJ及俄罗斯阿穆尔河的哲罗鲑遗传距离较远(0.0057—0.0082)。这说明*Hucho* BHB在形态和基因序列上与*Hucho* HLJ及俄罗斯阿穆尔河的哲罗鲑具有较大差异, 可能是不同的生态地理类型, *Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ在形态和基因序列上基本一致, 我们推测*Hucho* BEJ是放流或养殖场逃逸的哲罗鲑。

关键词: 哲罗鲑; 形态鉴定; CO I 基因; 额尔齐斯河; 黑龙江

中图分类号: Q959.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2020)01-0036-08

异域物种形成(Allopatric speciation)理论认为, 同一物种的种群若发生地理隔离, 就会阻止种群间的基因流, 经过长期的基因突变、自然选择和环境因素的共同作用后, 隔离形成的不同小种群会逐渐适应不同的生态环境, 逐步形成不同的地理宗或生态型(Geographic race), 不同的地理宗或生态型在分别独自进化, 可形成不同的种^[1]。

太门哲罗鲑(*Hucho taimen*)隶属于鲑形目(Salmoniformes)、鲑科(Salmonidae)、哲罗鲑属(*Hucho*)^[2], 是大型冷水性淡水凶猛鱼类, 在1998年出版的《中国濒危动物红皮书·鱼类》中被称为中国的濒危物种^[3]。哲罗鲑在新疆俗称“大红鱼”, 因著名的喀纳斯湖“湖怪”传说, 而受到世人广泛关注, 成为额尔齐斯河的乃至新疆的生物名片^[4]。20世纪60年代,

哲罗鲑在额尔齐斯河流域, 包括布尔津河、哈巴河和喀纳斯湖, 以及黑龙江流域的黑龙江、松花江、牡丹江、乌苏里江等广泛分布^[5-9]。研究显示在第三纪早、中期额尔齐斯河流域和黑龙江流域通过西伯利亚水系相连, 起源于西伯利亚的鲑科鱼类在各流域间相互交流、扩散, 到中晚期水体萎缩、河湖分隔渐趋明显, 在第三纪末, 西伯利亚水域和黑龙江流域的鱼类区系已产生很大的差别^[10]。李思忠^[11]认为额尔齐斯河流域和黑龙江流域的鱼类区系组成相似但有一定差异, 1981年将两个流域划为北方区的额尔齐斯河亚区和黑龙江亚区。有学者认为两个流域的哲罗鲑长期存在地理隔离, 缺乏基因交流, 逐渐适应各自的生活环境, 独自演化繁衍, 已产生一定的差异^[12, 13], 董崇智等^[5]的形态学研究

收稿日期: 2018-11-30; **修订日期:** 2019-05-19

基金项目: 国家自然科学基金(31360644和31860738); 新疆维吾尔自治区科技成果转化项目(2016C03013)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31360644, 31860738); Xinjiang Uygur Autonomous Region Science and Technology Achievements Transformation Project (2016C03013)]

作者简介: 郭爱民(1994—), 男, 甘肃临夏人; 硕士研究生; 主要研究方向为预防兽医学。E-mail: yfsyxn@163.com

通信作者: 岳城, 教授, 博士生导师; 主要研究方向为水生动物保护学。E-mail: yuechengxnd@aliyun.com

表明来自额尔齐斯河的哲罗鲑比黑龙江的哲罗鲑侧线鳞、幽门盲囊数稍多。未见应用分子生物学的方法对两地的哲罗鲑进行比较研究。

由于生态环境改变、过度捕捞等人为原因和哲罗鲑个体大、性成熟晚、个体产卵量小等生物学特性,我国哲罗鲑的群体数量急剧下降,分布区域迅速缩小^[1,6,14]。世界自然保护联盟(IUCN)2011—2012年期间对世界范围内的哲罗鲑进行了濒危等级评估,中国太门哲罗鲑(*H. taimen*)的等级为“濒危”,且新疆和黑龙江的哲罗鲑在过去3代(51年)的下降率分别约为87%和95%^[15]。黑龙江流域的哲罗鲑人工繁育已获成功,额尔齐斯河流域的哲罗鲑由于野生种群数量稀少,难以捕获,濒临灭绝。哲罗鲑因神秘的“湖怪”传说使喀纳斯湖闻名于世,为顺应相关需求和恢复其自然种群,新疆由黑龙江引进了哲罗鲑进行养殖,2011年将引进的4万余尾哲罗鲑子一代放流到额尔齐斯河流域^[16]。有专家认为额尔齐斯河和黑龙江存在地理隔离,两地分布的哲罗鲑有差异,也有专家表示两地的哲罗鲑是同一种,学者们各执己见,没有充足的理论依据,故哲罗鲑引种、养殖及放流的合理性、科学性存在的争议。

我们在野外采样工作中得到了数尾哲罗鲑,为比较两地哲罗鲑的异同,我们同时采集了当地引进的哲罗鲑,进行了形态学观察,扩增CO I 基因,进行了基因差异的研究,以探究额尔齐斯河流域野生哲罗鲑和引进的哲罗鲑的差异,以期对哲罗鲑的引种放流和土著物种的保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 鱼样采集

将额尔齐斯河流域白哈巴河采集到的哲罗鲑标记为*Hucho* BHB,将额尔齐斯河流域的布尔津县某水库采集到的哲罗鲑标记为*Hucho* BEJ,将布尔津县某冷水鱼养殖公司引进的黑龙江哲罗鲑标记为*Hucho* HLJ。分别从3个来源的哲罗鲑尾鳍剪切小块组织(约0.3 cm×0.5 cm×1.0 cm)放入1.5 mL Eppendorf管中,加95%酒精保存。

1.2 形态学观察

由于标本鱼为活体,主要观察了哲罗鲑的外部形态,未对幽门盲囊数等内部特征进行解剖观察。

1.3 分子生物学研究

DNA 提取 将95%酒精保存的鳍条各剪取约20 mg,用滤纸擦干酒精后剪碎,放入1.5 mL离心管中用Omega软件动物DNA小量提取试剂盒提取DNA。相关操作依据试剂盒说明书进行。

基因扩增及测序 PCR扩增采用标准的25 μL

体系,2×Easy Taq PCR SuperMix 12.5 μL, 1 pmol/μL上下游引物各1 μL, 10 ng/μL的模板2 μL, ddH₂O 8.5 μL。CO I 正向引物为TyrCO I : 5'-CTGTTTATGGAGCTACAATC-3', CO I 反向引物为SerCO I : 5'-GTGGCAGAGTGGTTATG-3'^[17];反应程序为:94℃预变性5min;94℃变性30s, 56℃退火30s, 72℃延伸90s, 30个循环;最后72℃延伸10min。PCR反应结束后,将扩增产物经1%琼脂糖电泳分析,目的条带切胶后用OMEGA公司的胶回收试剂盒进行纯化,纯化产物连接到pEASY-T1载体上,并转入感受态大肠杆菌DH5α细胞中,经蓝白斑筛选后,选取2个阳性克隆送上海生物工程股份有限公司测序。纯化产物送上海生工生物公司进行测序。

序列比对及系统发育树构建 从GenBank中下载所有含有哲罗鲑CO I 基因的序列共来自10个样本以及一条图们江细鳞鲑序列作为外类群(表1),用mega 6.0将下载序列与本研究得到的3个序列进行比对,删除两端无法对齐的碱基,用最大似然法和邻近法构建系统发育树并计算遗传距离进行分析。

2 结果

2.1 形态学特征

Hucho BHB、*Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ的形态相似,体长形,略侧扁,呈圆筒形;头部略扁平,有许多的黑色圆斑;口端位,口裂大;吻略尖,上颌较下颌略突出;上颌骨明显、游离,其末端延伸到眼后缘之后;眼侧上位,眼间距宽;鼻孔1对,位于眼前上方,距眼较距吻端近;上、下颌骨、犁骨、腭骨和舌上均有向内倾斜的锐齿;体被椭圆形小鳞,鳞前端较尖而后端较钝;侧线完全,位于体中侧;背鳍起点处于体中部稍前,胸鳍侧下位,起点稍后于腮盖膜后缘,腹鳍位于背鳍基后端之下,胸、腹鳍较小,腹鳍基部有腋鳞,臀鳍与脂鳍相对应;体侧有多数密集如粟粒状的暗黑色小十字形斑点。但*Hucho* BHB背部为苍青色,腹部银白色,斑点小,斑点少而淡,皮色通透;*Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ的背部为黑褐色,斑点大,斑点黑而密,皮色不通透(图1)。董崇智等^[1]此前对黑龙江流域和额尔齐斯河流域的哲罗鲑进行了详细的形态学测量及解剖学研究(表2)。

2.2 分子生物学结果比较

电泳结果显示CO I 基因片段大小约为1600 bp,这与预期结果一致;测序所得序列与从GenBank下载序列进行比对、计算遗传距离并构建系统发育树(图2、图3)。

表 1 来自GenBank的哲罗鲑基因序列
Tab. 1 Gene sequences of *Hucho* from GenBank

物种 Species	片段类型Fragment type	采集地点 Collection location	GenBank登录号 Accession number	参考文献 Reference
川陕哲罗鲑 <i>Hucho bleekeri</i>	Mt	中国China	KF908853.1	18
川陕哲罗鲑 <i>Hucho bleekeri</i>	Mt	中国China	HM804473.1	19
多瑙哲罗鲑 <i>Hucho hucho</i>	Mt	中国China	KM588351.1	18
太门哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	Mt	俄罗斯: 阿穆尔河流域Russia: Amur River basin	KJ711549.1	20
太门哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	Mt	中国China	HQ897271.1	21
太门哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	Mt	俄罗斯: 阿穆尔河流域Russia: Amur River basin	KJ711550.1	18
太门哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	CO I	俄罗斯: 阿穆尔河流域Russia: Amur River basin	KC936240.1	22
太门哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	CO I	俄罗斯: 阿穆尔河流域Russia: Amur River basin	KC936250.1	22
太门哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	CO I	俄罗斯: 阿穆尔河流域Russia: Amur River basin	KC936242.1	22
太门哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	CO I	中国: 额尔齐斯河流域白哈巴河 China: Baihaba river of Irtysh River basin	待上传	本研究
太门哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	CO I	中国: 额尔齐斯河流域布尔津县水库 China: reservoir in Burqin County of Irtysh River basin	待上传	本研究
太门哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	CO I	中国: 额尔齐斯河布尔津县冷水鱼养殖公司 China: A cold water fish farming company in Burqin County of Irtysh River basin	待上传	本研究
图门江细鳞鲑 <i>Brachymystax tumensis</i>	Mt	俄罗斯: 阿穆尔河流域Russia: Amur River basin	KJ730524.1	23

注: Mt 表示线粒体全基因组, CO I 表示细胞氧化色素酶 I 基因组
Note: Mt represents the whole genome of mitochondria, and CO I represents the oxidase pigmentase I genome

从基于CO I 基因的ML树看, *Hucho* BHB、*Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ与俄罗斯阿穆尔河(中国称黑龙江)的太门哲罗鲑(*H. taimen*)聚为一个大的分



图 1 额尔齐斯河流域不同来源哲罗鲑的形态

Fig. 1 Morphologies of different sources of *Hucho* in the Irtysh River basin

支, 在这个大的分支下, *Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ与俄罗斯阿穆尔河(中国称黑龙江)的太门哲罗鲑(*H. taimen*)聚到一起, 而*Hucho* BHB形成一个独立的分支。这个大的分支又与我国的川陕哲罗鲑(*H. bleekeri*)和欧洲的多瑙哲罗鲑(*H. hucho*)聚成的分支形成一个总的分支。NJ树的结果与ML树结果相一致。

从基于CO I 基因的遗传距离看(表 3), 川陕哲罗鲑(*H. bleekeri*)与太门哲罗鲑(*H. taimen*)的种间距离为0.0127—0.0160, 川陕哲罗鲑(*H. bleekeri*)和多瑙河哲罗鲑(*H. hucho*)的遗传距离为0.0140—0.0166, 多瑙河哲罗鲑(*H. hucho*)与太门哲罗鲑(*H. taimen*)的遗传距离为0.0134—0.0160, 说明哲罗鲑的属间距离大约在0.0127—0.0160; 已发布的各太门哲罗鲑(*H. taimen*)相互间的遗传距离为0—0.0038, 说明太门哲罗鲑的种间遗传距离在0.0038左右。 *Hucho* HLJ与俄罗斯阿穆尔河(中国称黑龙江)太门哲罗鲑(*H. taimen*)的遗传距离为0—0.0031, *Hucho* BEJ与俄罗斯阿穆尔河太门哲罗鲑(*H. taimen*)的遗传距离为0.0006—0.0044, *Hucho* HLJ和*Hucho* BEJ的遗传距离为0.0038, 与太门哲罗鲑(*H. taimen*)的种间遗传

传遗传距离相一致; *Hucho* BHB与俄罗斯阿穆尔河、太门哲罗鲑(*H. taimen*)的遗传距离为0.0057—0.0076, *Hucho* BHB与*Hucho* HLJ和*Hucho* BEJ的遗传距离为0.0082和0.0057, 明显大于太门哲罗鲑(*H. taimen*)的种间遗传距离。*Hucho* BHB与川陕哲罗鲑(*H. bleekeri*)和多瑙河哲罗鲑(*H. hucho*)的遗传距离为0.134—0.160, 与哲罗鲑的属间遗传距离(0.0127—0.0160)相一致, 这些结果说明*Hucho* HLJ、*Hucho*

表 2 不同水域哲罗鲑的主要性状
Tab. 2 Main traits of *Hucho* in different waters

采集地 Collection place	黑龙江(逊克) Heilongjiang (Xunke)	嫩江(嫩江) Nenjiang (Nenjiang)	乌苏里江(饶河) Wusuli River (Rao River)	额尔齐斯河(喀纳斯湖) Irtys River (Kanas Lake)
标本数 Number of specimens (tail)	15	9	3	15
全长Total length (mm)	470—810	275—550	240—522	235—615
体叉长Body length	450—810	240—520	216—486	202—580
体长/体高 Body length/Body height	4.6—6.5 5.6	5.1—6.5 5.7	4.0—4.7 4.3	4.4—4.8 4.5
体长/尾柄长 Body length/Caudal peduncle length	7.7—10.2 9.3	7.7—8.7 8.1	7.8—9.8 9.1	8.4—9.7 9.1
体长/尾柄高 Body height/Caudal peduncle height	12.3—15.8 14.5	12.9—15.0 13.7	12.7—15.3 13.9	
头长/吻长 Head length/Snout length	3.5—3.9 3.6	3.6—4.5 4.1	3.7—4.2 3.8	3.4—3.8 3.7
头长/眼径 Head length/eye diameter	6.5—8.5 7.5	5.3—7.9 6.3	5.3—8.2 7.1	5.2—7.9 7.0
头长/眼间距 Head length/Interorbital width	3.1—3.6 3.4	2.8—3.6 3.4	3.0—3.6 3.4	3.0—3.5 3.2
尾柄长/尾柄高Caudal peduncle length/ Caudal peduncle height	1.2—1.9 1.5	1.5—1.9 1.7	1.4—1.8 1.6	1.4—1.7 1.6
背鳍Dorsal fin	10—11 10.3	10—11	10—11	9—11
臀鳍Anal fin	9—9.2	8—9	9—10	8—10
胸鳍Pectoral fins	13—15 14	13—15 14	13—15 14	13—16 14.5
腹鳍Ventral fin	9—10 9.3	19—10	19—10	18—10
侧线鳞Lateral line scale	141—211 197.8	139—214	146—220	197—233
鳃耙Gill rakers	11—16 13.2	13—14	11—15	10—12
鳃弧骨	11—12 11.6	12—13	11—12	11—13
幽门垂Pyloric	184—195 189	150—250	181—205	206—260

注: 引自董崇智等, 1998年, (濒危名贵哲罗鱼保护生物学研究 II. 哲罗鱼性状及生态学资料)
Note: Quoted from Dong Chongzhi, *et al.* 1998, (Research on the conservation biology of the endangered sage and snails II. The traits and ecological data of the snails)

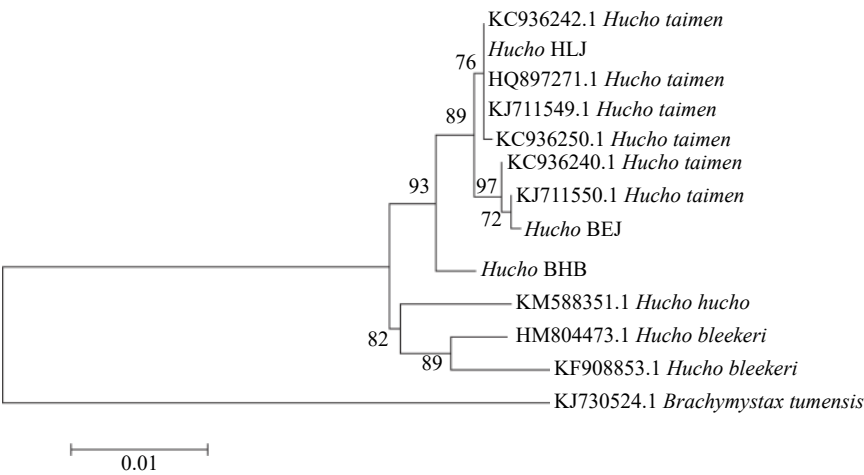


图 2 基于哲罗鲑CO I 基因的系统发育树(ML)
Fig. 2 Phylogenetic tree (ML) based on CO I gene of *Hucho*

BEJ、*Hucho* BHB均为太门哲罗鲑(*H. taimen*), 但*Hucho* BHB与*Hucho* HLJ和*Hucho* BEJ及俄罗斯阿穆尔河分布的太门哲罗鲑(*H. taimen*)遗传距离较大, 在基因上存在一定差异。

3 讨论

3.1 形态学特点

形态学观察表明, 3种来源的哲罗鲑形态基本一致, 但存在部分差异: *Hucho* BHB背部为苍青色, 腹部银白色, 斑点小, 斑点淡而少, 皮色通透; *Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ背部为黑褐色, 斑点大, 斑点黑而密, 皮色不通透, 说明*Hucho* BHB与*Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ在形态上有一定差异。本研究由于野生

样本为活体, 未对幽门盲囊数进行统计, 但据董崇智等^[1]研究, 来自额尔齐斯河流域的哲罗鲑较黑龙江流域的哲罗鲑侧线鳞、幽门盲囊数稍多, 表明2个流域的哲罗鲑在解剖构造上存在一定差异。

查阅各种含有哲罗鲑形态学描述的书籍发现不同专家对哲罗鲑的形态学描述略有不同, 如吻型特点, 石琮等^[24]、孙晨旭等^[25]、袁国映^[26]的描述是“吻尖”, 郑葆珊^[27]的描述是“吻钝”, 而中国科学院动物所等机构联合出版的《新疆鱼类志》中的描述则是“吻略尖”^[28]; 对于口位的描述, 郑葆珊^[27]的描述为“口前位”, 其他书籍中则描述为“口端位”^[24-26], 鳞片特点, 太多的描述为“鳞极细小, 椭圆形”^[25-27], 《新疆百科全书》^[29]的描述则是“鳞片很小, 呈三

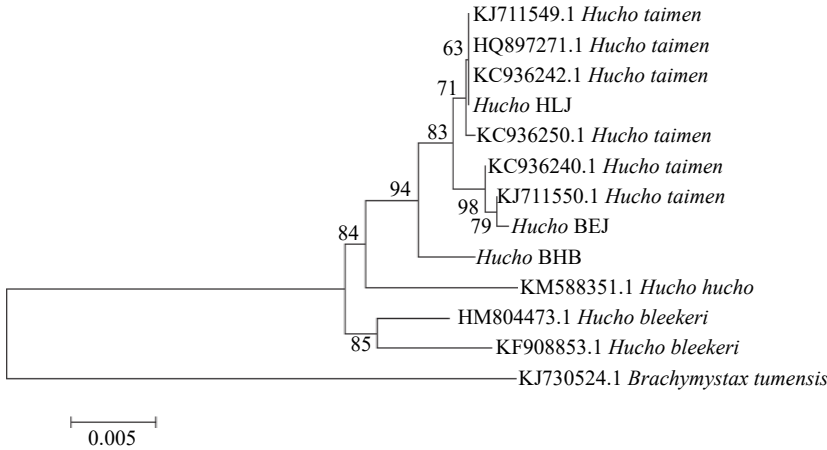


图3 基于CO I 基因的哲罗鲑系统发育树(NJ)

Fig. 3 Phylogenetic tree (NJ) based on CO I gene of *Hucho*

表3 基于哲罗鲑CO I 基因的遗传距离矩阵

Tab. 3 Genetic distance matrix based on the CO I gene of *Hucho*

编号 Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2	0.0530											
3	0.0530	0.0101										
4	0.0564	0.0140	0.0166									
5	0.0529	0.0134	0.0160	0.0160								
6	0.0536	0.0127	0.0153	0.0140	0.0031							
7	0.0536	0.0127	0.0153	0.0140	0.0031	0.0000						
8	0.0522	0.0127	0.0153	0.0153	0.0006	0.0025	0.0025					
9	0.0529	0.0121	0.0147	0.0134	0.0038	0.0006	0.0006	0.0031				
10	0.0536	0.0127	0.0153	0.0140	0.0031	0.0000	0.0000	0.0025	0.0006			
11	0.0537	0.0140	0.0166	0.0166	0.0006	0.0038	0.0038	0.0013	0.0044	0.0038		
12	0.0536	0.0127	0.0153	0.0140	0.0031	0.0000	0.0000	0.0025	0.0006	0.0000	0.0038	
13	0.0543	0.0134	0.0160	0.0134	0.0076	0.0057	0.0057	0.0070	0.0063	0.0057	0.0082	0.0057

注: 编号对应的GenBank登录号及鱼的种类GenBank accession and type of fish corresponding to the number. 1. KJ730524.1 *Brachymystax tumensis*; 2. HM804473.1 *Hucho bleekeri*; 3. KF908853.1 *Hucho bleeker*; 4. KM588351.1 *Hucho hucho*; 5. KJ711550.1 *Hucho taimen*; 6. KJ711549.1 *Hucho taimen*; 7. HQ897271.1 *Hucho taimen*; 8. KC936240.1 *Hucho taimen*; 9. KC936250.1 *Hucho taimen*; 10. KC936242.1 *Hucho taimen*; 11. *Hucho* BEJ; 12. *Hucho* HLJ; 13. *Hucho* BHB

角形”, 郑葆珊^[28]的描述则为“体背椭圆形小鳞, 鳞前端略尖, 后端较钝”。我们认为, 导致这些形态描述特点不一致的原因可能跟样本的采集地不同、样本采集的时间、形态描述时的用词差异等有关。

3.2 基因序列差异

由系统发育树可看出, *Hucho* BHB、*Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ与俄罗斯阿穆尔河(中国称黑龙江)的太门哲罗鲑(*H. taimen*)聚为一个大的分支, 在这个大的分支下, *Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ与俄罗斯阿穆尔河的太门哲罗鲑(*H. taimen*)聚到一起, 而*Hucho* BHB形成一个独立的分支。由遗传距离矩阵可看出, *Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ与俄罗斯阿穆尔河太门哲罗鲑(*H. taimen*)的遗传距离为0—0.0044, 与太门哲罗鲑(*H. taimen*)的种间距离相一致, 说明*Hucho* BEJ和*Hucho* HLJ为太门哲罗鲑(*H. taimen*); *Hucho* BHB与俄罗斯阿穆尔河的太门哲罗鲑(*H. taimen*)的遗传距离(0.0057—0.0076)约为太门哲罗鲑(*H. taimen*)种间距离(0—0.0038)的两倍, 与川陕哲罗鲑(*H. bleekeri*)和多瑙河哲罗鲑(*H. hucho*)的遗传距离(0.0134—0.0160)与哲罗鲑的属间遗传距离(0.0127—0.0160)相一致, 说明*Hucho* BHB为太门哲罗鲑(*H. taimen*), 但与俄罗斯阿穆尔河的太门哲罗鲑(*H. taimen*)在基因上的存在较大差异。

3.3 三个不同来源哲罗鲑的关系

相关研究表明冷水鱼对冷水产卵环境具有独特的选择性, 和冷水鱼强烈的返家繁殖习性及很弱的扩散能力, 地理种群间很容易因基因交流出现障碍而产生显著的遗传分化^[30—33]。马波等^[34]的研究表明, 尽管水系相连, 但在嫩江上游、黑龙江、图们江中的细鳞鲑表现出形态差异, 推测其为地理隔离导致的遗传分化, 认为图们江的细鳞鲑是尖吻细鳞鲑的一种特殊的地理生态类群。

我们的研究结果在形态学表征和分子数据皆显示, 额尔齐斯河流域和黑龙江流域的哲罗鲑由于长期的地理隔离, 适应不同的地理环境, 进化繁衍, 从而在形态和基因上都产生了较大差异, 特别是基因序列方面, 来自额尔齐斯河流域的*Hucho* BHB与黑龙江流域的哲罗鲑在进化树上形成单独的分支, 遗传距离为黑龙江流域哲罗鲑种间距离的两倍, 可作为太门哲罗鲑(*H. taimen*)的不同生态地理类群。而*Hucho* BEJ与*Hucho* HLJ及俄罗斯阿穆尔河的哲罗鲑(中国称黑龙江)在进化树上聚到了一起, 遗传距离为0—0.0044, 与太门哲罗鲑中间距离相一致, 我们推测*Hucho* BEJ为当年放流或养殖场逃逸的哲罗鲑。

3.4 关于引种问题的探讨

外来种(Alien or exotic species)是指那些出现

在其过去或现在的自然分布范围及扩散潜力以外(以及在其自然分布范围以外, 在没有直接或间接引入的情况下是不存在)的物种、亚种或以下分类单元(世界自然保护联盟物种生存委员会, 2000)。土著种(Indigenous species)是指自然发生于其原生地区的物种, 或“自然发生于特定地区的植物、动物和微生物”(中国生物多样性网络研究报告编写组, 1998)^[35]。

哲罗鲑在新疆俗称“大红鱼”, 因喀纳斯湖“湖怪”而蜚声中外, 上述研究结果表明, 额尔齐斯河流域的哲罗鲑在本地长期演化已形成独特的形态和基因特征, 与其他流域的哲罗鲑属于不同的生态地理类群。哲罗鲑因其性成熟晚、个体大、个体产卵量小等特点, 使得种群恢复较为困难^[5, 6, 12], 哲罗鲑为单亲本产卵繁殖, 具有排他性, 在数十米的水域中只能有1对亲本繁殖^[36]。相关研究表明外来种和土著种之间的杂交常导致形成杂合子或基因污染, 而加速土著种灭绝^[37—39], 引进和放流不当会改变物种的基因, 与当地鱼类竞争食物, 竞争产卵场所等生态位, 同时也可带入外来病原, 加速土著鱼类的灭绝。为保护本地特有的种质资源, 我们建议应慎重考虑各种水生动物的引种、养殖及放流, 应加快额尔齐斯河流域土著鱼类的研究及保护工作, 特别是哲罗鲑、细鳞鲑、北极茴鱼等鱼类繁殖保护的研究, 以促进额尔齐斯河流域哲罗鲑及其他鱼类种群的保护及恢复。

参考文献:

- [1] Li Z H, Liu Z L, Wang M L, *et al.* A review on studies of speciation in the presence of gene flow: evolution of reproductive isolation [J]. *Biodiversity Science*, 2014, **22**(1): 88-96. [李忠虎, 刘占林, 王玛丽, 等. 基因流存在条件下的物种形成研究述评: 生殖隔离机制进化 [J]. 生物多样性, 2014, **22**(1): 88-96.]
- [2] Wang W W, Liu Q, Wei L L. Phylogenetic relationship of subfamily *Salmoninae* trout in China based on control region sequence of mitochondrial DNA [J]. *Freshwater Fisheries*, 2015, **45**(5): 24-28. [王伟伟, 刘青, 魏琳琳. 基于mtDNA控制区序列的我国养殖鲑亚科鱼类系统关系 [J]. 淡水渔业, 2015, **45**(5): 24-28.]
- [3] Yue P Q, Chen Y Y. Chinese Red List of Endangered Animal Species [M]. Beijing: Science Press, 1998: 29-31. [乐佩琦, 陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 29-31.]
- [4] Zhang F C, Li J S, Liu W H. Basic Knowledge of Biodiversity [M]. Beijing: China Environment Press, 2015: 154. [张凤春, 李俊生, 刘文慧. 生物多样性基础知识 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2015: 154.]
- [5] Dong C Z, Li H M, Zhao C G, *et al.* Study on the protective biology of precious *Hucho* trout being in critically ill

- II properties of *Hucho* trout and its ecology data [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 1998(2): 34-39. [董崇智, 李怀明, 赵春刚, 等. 濒危名贵哲罗鱼保护生物学的研究 II. 哲罗鱼性状及生态学资料 [J]. 水产学杂志, 1998(2): 34-39.]
- [6] Jiang Z F, Tang F J, Yin J S, *et al.* The population structure and growth characteristics of *Hucho taimen* (Pallas) in the upper reaches of Wusuli River [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2004, **33**(4): 53-55. [姜作发, 唐富江, 尹家胜, 等. 乌苏里江上游虎头江段哲罗鱼种群结构及生长特性 [J]. 东北林业大学学报, 2004, **33**(4): 53-55.]
- [7] Yin J S, Xu W, Cao D C, *et al.* Age structure, sex ratio and growth of the Taimen (*Hucho taimen*) in Wusuli River [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2003, **49**(5): 687-692. [尹家胜, 徐伟, 曹顶臣, 等. 乌苏里江哲罗鲑的年龄结构、性比和生长 [J]. 动物学报, 2003, **49**(5): 687-692.]
- [8] Ren M L, Guo Y, Zhang X S, *et al.* Fish Resources and Fishery in Irtysh River, China [M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Health Press, 2002: 58-63. [任慕莲, 郭焱, 张秀善, 等. 中国额尔齐斯河鱼类资源及渔业 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 2002: 58-63.]
- [9] Wang K. Population genetics and molecular phylogeny of *Hucho bleekeri* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016: 1-2. [汪珂. 川陕哲罗鲑种群遗传学及分子系统发育研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2016: 1-2.]
- [10] Du H B. Questioning the origin of the north and south carp in the Qinling Mountains [J]. *Henan Aquatic Products*, 2012(2): 5-7, 9. [杜汉斌. 秦岭南北鲑科鱼类渊源质疑 [J]. 河南水产, 2012(2): 5-7, 9.]
- [11] Li S Z. Distribution of Freshwater Fish in China [M]. Beijing: Science Press, 1981: 37-41. [李思忠. 中国淡水鱼类的分布区划 [M]. 北京: 科学出版社, 1981: 37-41.]
- [12] Li S Z. Geographical distribution of Mongolian fishes [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2004(1): 72-75. [李思忠. 蒙古国鱼类地理分布简介 [J]. 动物学杂志, 2004(1): 72-75.]
- [13] Li S Z. Discussion on geographical distribution of Chinese carps [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1984(1): 34-37. [李思忠. 中国鲑科鱼类地理分布的探讨 [J]. 动物学杂志, 1984(1): 34-37.]
- [14] Jiang Z F, Huo T B. Investigation and Research on Aquatic Species Resources in Irtysh River, Tarim River and Wulungu Lake, Xinjiang [M]. Beijing: China Environment Press, 2014: 417-427. [姜作发, 霍堂斌. 新疆额尔齐斯河、塔里木河、乌伦古湖水生生物物种资源调查与研究 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2014: 417-427.]
- [15] Rand P S. Current global status of *taimen* and the need to implement aggressive conservation measures to avoid population and species-level extinction [J]. *Archives of Polish Fisheries*, 2013, **21**(3): 119-128.
- [16] Chen W Y. For the first time in the region, the *Hucho taimen* was released to the Irtysh River [N]. *Altay Daily (Han)*, 2011-09-02 (004). [陈伟阳. 地区首次向额河放流哲罗鲑 [N]. 阿勒泰日报(汉). 2011-09-02 (004).]
- [17] Kuang Y Y, Tong G X, Yin J S, *et al.* Genetic structure of *Hucho taimen* (Pallas) from Heilongjiang River as inferred from mtDNA sequence [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, **29**(9): 4630-4639. [匡友谊, 佟广香, 尹家胜, 等. 线粒体序列分析黑龙江流域哲罗鲑的种群遗传结构 [J]. 生态学报, 2009, **29**(9): 4630-4639.]
- [18] Zhang S, Wei Q, Du H, *et al.* The complete mitochondrial genome of the endangered *Hucho bleekeri* (Salmonidae: Huchen) [J]. *Mitochondrial DNA*, 2016, **27**(1): 1-3.
- [19] Wang Y, Guo R, Li H, *et al.* The complete mitochondrial genome of the Sichuan taimen (*Hucho bleekeri*): repetitive sequences in the control region and phylogenetic implications for Salmonidae [J]. *Marine Genomics*, 2011, **4**(3): 221-228.
- [20] Balakirev E S, Romanov N S, Mikheev P B, *et al.* Complete mitochondrial genome of Siberian taimen, *Hucho taimen* not introgressed by the lenok subspecies, *Brachymystax lenok* and *B. lenok tsinlingensis* [J]. *Mitochondrial DNA*, 2016, **27**(2): 1-2.
- [21] Wang Y, Zhang X, Yang S, *et al.* The complete mitochondrial genome of the taimen, *Hucho taimen*, and its unusual features in the control region [J]. *Mitochondrial DNA*, 2011, **22**(4): 111-119.
- [22] Balakirev E S, Romanov N S, Mikheev P B, *et al.* Mitochondrial DNA variation and introgression in siberian taimen *Hucho taimen* [J]. *PLoS One*, 2013, **8**(8): e71147.
- [23] Balakirev E S, Romanov N S, Ayala F J. Complete mitochondrial genome of blunt-snouted lenok *Brachymystax tumensis* (Salmoniformes, Salmonidae) [J]. *Mitochondrial DNA*, 2014, **27**(2): 1.
- [24] Shi Q, Fan M J, Zhang Y. China's Economic Fish Records [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2014: 14-16. [石琼, 范明君, 张勇. 中国经济鱼类志 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2014: 14-16.]
- [25] Sun C X, Zhang J Y, Ding W. Aquatic Animals in Changbai Mountain [M]. Jilin: Jilin University Press, 2012: 33-35. [孙晨旭, 张君义, 丁伟. 长白山水生动物图鉴 [M]. 吉林: 吉林大学出版社, 2012: 33-35.]
- [26] Yuan G Y. Water Monster [M]. Urumqi: Xinjiang Electronic Audio and Video Press, 2011: 5-7. [袁国映. 水怪 [M]. 乌鲁木齐: 新疆电子音像出版社, 2011: 5-7.]
- [27] Zheng B S. Chinese Animal Atlas: Fish (2nd Edition) [M]. Beijing: Science Press, 1987: 52. [郑葆珊. 中国动物图谱: 鱼类(第2版) [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 52.]
- [28] Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Xinjiang Institute of Biological Desert Research, Chinese Academy of Sciences, Xinjiang Uygur Autonomous Region Fisheries Bureau. Xinjiang Fish Records [M]. Urumqi: Xinjiang People's Press, 1979: 9-10. [中国科学院动物研究所, 中国科学院新疆生物沙漠研究所, 新疆维吾尔自治区水产局. 新疆鱼类志 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1979: 9-10.]
- [29] Xinjiang Encyclopedia Compilation Committee. Xinjiang Encyclopedia [M]. Beijing: China Encyclopedia Press, 2002: 231. [新疆百科全书编纂委员会. 新疆百科全书 [M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2002: 231.]
- [30] Besednov L N, Kucherov A I. On the systematic position of the genus *Brachymystax* from the Iman River [J]. *Zoo-*

- logical Problems of Siberia, 1972(209): 220-221.
- [31] Adam P Gönczi. A study of physical parameters at the spawning sites of the European grayling (*Thymallus thymallus* L.) [J]. *Regulated Ricers: Research & Management*, 2018, **3**(1): 221-224.
- [32] Weiss S, Persat H, Eppe R, *et al.* Complex patterns of colonization and refugia revealed for European grayling *Thymallus thymallus*, based on complete sequencing of the mitochondrial DNA control region [J]. *Molecular Ecology*, 2010, **11**(8): 1393-1407.
- [33] Brunner P C, Douglas M R, Osinov A, *et al.* Holarctic phylogeography of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) inferred from mitochondrial DNA sequences [J]. *Evolution*, 2001, **55**(3): 573-586.
- [34] Ma B, Jiang Z F, Huo T B. Study on the taxonomic status of species of *Brachymystax* in Heilongjiang river and Tumen river systems based on mitochondrial control region sequence [J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 2009, **34**(3): 499-506. [马波, 姜作发, 霍堂斌. 基于线粒体DNA控制区序列变异探讨黑龙江和图们江细鳞鲑属鱼类的分类地位 [J]. *动物分类学报*, 2009, **34**(3): 499-506.]
- [35] Li K. Studies on biology and genetic diversity of two endemic fishes in lakes of Yunnan plateau [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2006: 6-7. [李堃. 云南高原湖泊特有鱼类的生物学与遗传多样性研究 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2006: 6-7.]
- [36] Hu M, Wang Y, Cao L, *et al.* Threatened fishes of the world: *Hucho bleekeri*, Kimura, 1934 (Salmonidae) [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2008, **82**(4): 385-386.
- [37] Daehler C, Strong D. Hybridization between introduced smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*; Poaceae) and native California cordgrass (*S. foliosa*) in San Francisco Bay, California, USA [J]. *American Journal of Botany*, 1997, **84**(5): 607-661.
- [38] Rhymer J M, Simberloff D. Extinction by hybridization and introgression [J]. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 1996, **27**(1): 83-109.
- [39] Trenham P C, Shaffer H B, Moyle P B. Biochemical identification and assessment of population subdivision in morphologically similar native and invading smelt species (*Hypomesus*) in the Sacramento-San Joaquin Estuary, California [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1998, **127**(3): 417-424.

MORPHOLOGY AND CO I GENES OF DIFFERENT SOURCES OF *HUCHO TAIMEN* IN THE IRTYSH RIVER BASIN

GUO Ai-Min¹, Kadirdin Alken¹, JIAO Li¹, HAO Cui-Lan¹, CHEN Lin², PAN Guo-Qiang³, XIE Zhi-Sheng¹, ZHANG Wen-Run¹, RONG Meng-Jie¹ and YUE Cheng¹

(1. College of Animal Medicine, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Xinjiang Zhongliyang Fishery Technology Co., Ltd., Urumqi 830052, China; 3. Burqin County Irtysh River Special Cold Water Fish Breeding Development Co., Ltd., Burqin 836600, China)

Abstract: *Hucho taimen* belong to endangered species. It is distributed in the Irtysh River basin and the Heilongjiang River basin, but the geographic isolation has existed between two basins chronically. Differences in the morphology and anatomy of *Hucho* in the two basins have been reported, yet the differences in gene sequences remain unclear. Several *Hucho* were collected from natural waters (*Hucho* BHB and *Hucho* BEJ), and introduced from Heilongjiang (*Hucho* HLJ). The morphological characteristics were described. The CO I gene was amplified and sequenced, and the phylogenetic tree was constructed by downloading the CO I genes from GenBank. The results indicated that *Hucho* BEJ and *Hucho* HLJ had the same morphological characteristics, and *Hucho* BHB differed from the other two species on body color and spot size. The phylogenetic tree based on the CO I gene showed that the three different *Hucho* and *H. taimen* were clustered into one large branch, and that *Hucho* BEJ, *Hucho* HLJ and Russia's Amur River (called the Heilongjiang River in China) were gathered into a common group, and *Hucho* BHB was another separate group. Based on the genetic matrix of the CO I gene, *Hucho* BEJ and *Hucho* HLJ had similar genetic distance with the Russian Amur River (0—0.0044), and *Hucho* BHB was far away from *Hucho* BEJ, *Hucho* HLJ and *Hucho* of Russian Amur River (called the Heilong River in China) (0.0057—0.0082). These results indicated that *Hucho* BHB in morphology and gene sequence is quite different from *Hucho* HLJ and Russia's Amur River (called the Heilongjiang River in China), which maybe belong to different ecological and geographical types. The almost identical morphology and gene sequence between *Hucho* BEJ and *Hucho* HLJ demonstrated that *Hucho* BEJ was a species released into the river or escaped from the farm.

Key words: *Hucho*; Morphological identification; CO I gene; Irtysh River; Heilongjiang