

doi: 10.7541/2017.27

秦岭细鳞鲑栖息地环境特征研究

吴金明¹ 杨焕超^{1,2} 邵 俭^{1,2} 杜 浩¹ 王成友¹ 危起伟¹

(1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 武汉 430223; 2. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070)

摘要: 为研究秦岭细鳞鲑(*Brachymystax lenok tsinlingensis*)的栖息地环境选择偏好, 对陕西陇县秦岭细鳞鲑国家级自然保护区和甘肃秦州珍稀水生野生动物国家级自然保护区内25个样点进行了鱼类采样和生境测量。共采集到130尾秦岭细鳞鲑样本, 样点的平均分布密度为(0.10±0.07)尾/m, 两个保护区内秦岭细鳞鲑的密度存在显著性差异($P<0.05$)。与秦岭细鳞鲑密度分布呈正相关的因子依次为坡度、跌水区密度、海拔、粗糙度、遮蔽度、底栖动物生物量和流速, 与密度呈负相关的环境因子依次为河宽、水深和溶氧。冗余性分析(RDA)筛选了坡度、粗糙度、遮蔽度、海拔和跌水区5个关键环境因子。基于关键环境因子的实测值建立了栖息地适合度曲线, 秦岭细鳞鲑分布的最适坡度范围为5%—10%, 海拔分布范围为1500—2000 m, 粗糙度范围0.3—0.4; 跌水区密度范围12—18个/100 m, 遮蔽度在0.5以上。

关键词: 秦岭; 秦岭细鳞鲑; 密度; 栖息地

中图分类号: Q142

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2017)01-0214-06

秦岭细鳞鲑(*Brachymystax lenok tsinlingensis*)为国家二级保护动物, 隶属于鲑形目(Salmoniformes)、鲑科(Salmonidae)、细鳞鲑属(*Brachymystax*), 为我国特有的陆封型鲑科鱼类。目前分布于秦岭山区的十余条溪流中, 分别隶属于黄河渭河水系及长江汉江水系。近几十年来, 由于人口的急剧增长和对自然环境的肆意破坏, 其适宜栖息地日益减少, 为了保护秦岭细鳞鲑, 已相继建立了陕西陇县秦岭细鳞鲑国家级自然保护区以及甘肃漳县、岷县等多个省级保护区。

由于秦岭细鳞鲑的分布区域狭小且物种定名时间较晚, 相关研究在近年来才逐渐加强。研究涉及资源调查^[1-3]、生物学研究^[4-6]、人工养殖与繁育^[7, 8]等方面, 缺乏自然种群生态学方面的工作。在现有的栖息区域, 秦岭细鳞鲑多呈离散小种群分布, 指示该物种对栖息地环境有着严格的要求, 这也是陆封型鱼类分布的普遍特征。本文基于野外调查数据, 从中观和微观两种生境尺度对其分布与环境因子的关系进行了研究, 以期了解秦岭细鳞鲑

的栖息地环境需求, 为开展秦岭细鳞鲑自然种群保护及人工养殖环境仿生态建设提供参考。

1 材料与方法

1.1 调查区域

本调查于2013年6月在陕西陇县秦岭细鳞鲑国家级自然保护区(以下简称陇县保护区)和甘肃秦州珍稀水生野生动物国家级自然保护区(以下简称秦州保护区)内开展。陇县保护区的主要保护对象为秦岭细鳞鲑, 位于东经106°26'32"—107°06'10", 北纬34°35'17"—35°08'16", 保护区总面积6559公顷, 涉及保护的河流包括千河、咸宜河、蒲裕河等53条山区溪流。秦州保护区面积12223公顷, 位于东经105°56'44"—105°12'17", 北纬34°07'58"—34°37'04"。纳入保护的河流包括长江水系白家河流域的望天河、庙川河等6条溪流, 主要以大鲵为保护对象; 而保护区内的藉河流域属于黄河水系, 主要以秦岭细鳞鲑为保护对象。

收稿日期: 2016-02-03; **修订日期:** 2016-06-18

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2013JBFM19); 公益性行业(农业)科研专项(201203086)资助 [Supported by the Fundamental Research Funding of Freshwater Fisheries Research Center (2013JBFM19); the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest (201203086); the China Three Gorges Corporation (No. 0701979)]

作者简介: 吴金明, 男, 湖北松滋人; 博士, 助理研究员; 主要从事濒危鱼类保护研究。E-mail: jinming@yfi.ac.cn

通信作者: 危起伟, E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

1.2 样点设置

本次调查区域为秦岭山区溪流, 包括陇县保护区内咸宜河、蒲裕河、千河、苏家河干支流的21个样点(图 1A)和秦州保护区藉河的4个样点(图 1B)。调查时间为2013年6月5日—22日。

1.3 采样、测量与分析方法

秦岭细鳞鲑的采集采用电捕法。具体的方法为: 每个样点设置50 m长度的调查河段, 采用背负式电鱼机(4500 W)自下而上进行捕捞, 将网目6 cm的网片设置在调查区域的上下游节点拦截河道, 以防止鱼类逃逸。统计每个样点秦岭细鳞鲑的捕获尾数, 逐尾测量体长与体重, 待样本完全苏醒后放回原捕捞河道, 计算该样点秦岭细鳞鲑的分布密度(尾/m)。

生境因子的测量在鱼类采集、测量完成后立即开始。本次调查测量了海拔、河宽、水深、水温、溶氧、透明度、坡度、流速、底质粗糙度、水面遮蔽度和跌水区密度等11项非生物环境指标; 另外, 还采集底栖动物, 对各样点的底栖动物生物量进行了计算。海拔采用手持式GPS测量; 坡度采用水准仪测量样段首尾的高程差, 然后根据河段长度计算; 河宽和水深采用皮尺测量; 流速采用流速仪测量; 跌水区按照落差大于30 cm的标准统计个数, 再根据河段长度计算跌水区密度; 底质粗糙度采用铁链法, 即用0.5 m的铁链平铺水底, 测量铁链

两段的直线距离(L), 粗糙度(R)= $0.5/L$; 遮蔽度采用照度计测量水面光照强度和邻近区域无植被遮挡区域的光照强度, 计算两者比值用于指示河道的遮蔽程度; 水温、溶氧采用便携式水质分析仪测量、透明度采用透明度盘测量; 底栖动物采用索伯网(Surber net)定量采集, 带回实验室统计密度及生物量。除坡度和跌水区密度外, 其他环境指标在50 m样段内测量3次(起点、中点和终点)。水深、水温、溶氧、透明度、流速、底质粗糙度和水面遮蔽度测量位置位于溪流中间线。

将获得的各项环境参数和鱼类密度数据录入Excel 2013电子表格制成原始数据矩阵。首先采用PASW Statistics 18分析各样点环境因子之间的相关性, 然后进行环境因子与鱼类密度的相关性分析。采用Canoco 4.5软件进行冗余性排序分析(RDA)。根据排序结果中环境因子对秦岭细鳞鲑密度影响的贡献率(>50%), 筛选决定秦岭细鳞鲑分布的关键环境因子。根据关键环境因子的实测值, 通过频数分布法建立秦岭细鳞鲑的栖息地适合度曲线。

2 结果

2.1 秦岭细鳞鲑年龄组成与密度分布

本次调查在两个保护区25个样点共采集到秦岭细鳞鲑130尾, 全长范围11.2—26.8 cm, 平均全长(16.7 ± 3.0) cm, 体重范围为10.2—205.1 g, 平均体重

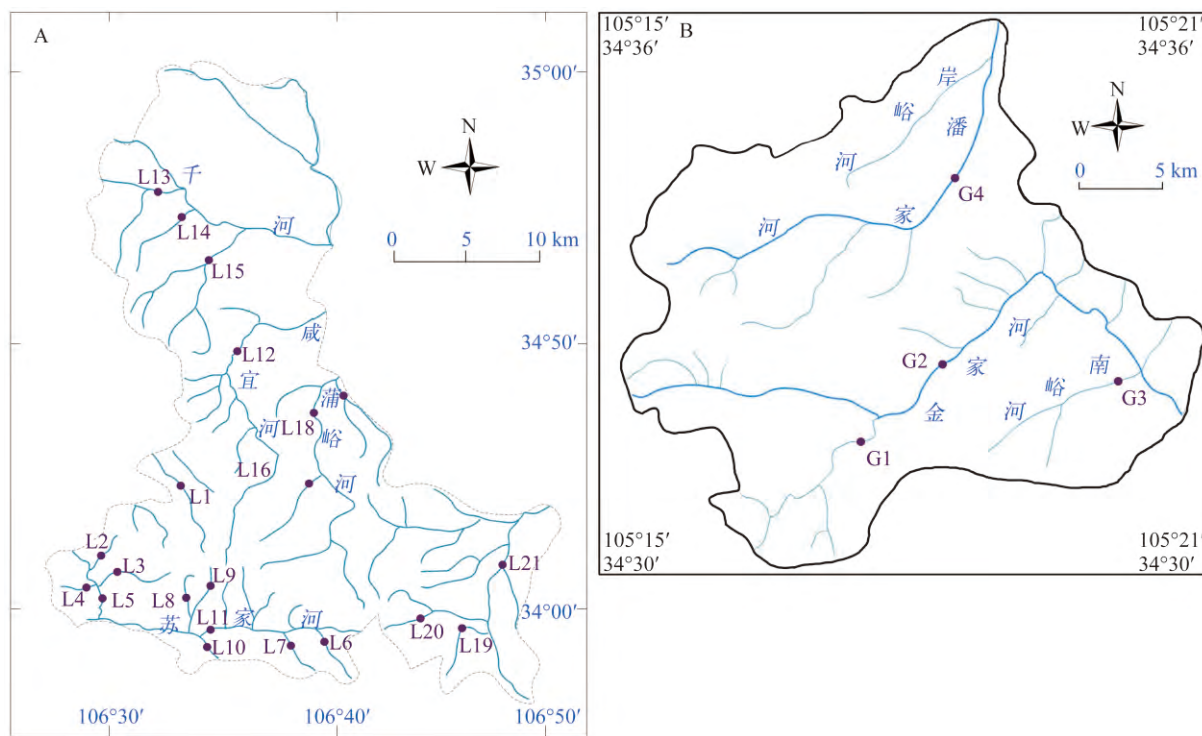


图 1 采样点示意图(A. 陇县保护区; B. 秦州保护区)

Fig. 1 Map of sampling sites in the current study (A. Longxian Nature Reserve; B. Qinzhou Nature Reserve)

(52.7±32.8) g。根据2013年的年龄与生长的研究结果^[3], 估算这些样本的年龄在2—5龄, 其中以2龄和3龄组为主(图 2), 分别占总样本数的42.3%和44.6%。各样点的秦岭细鳞鲑的密度范围为0—0.26尾/m, 平均分布密度(0.10±0.07)尾/m, 陇县保护区和秦州保护区的平均密度分别为(0.09±0.07)和(0.18±0.04)尾/m, 两个保护区的分布密度存在显著性差异($P=0.035$)。

2.2 调查区域的环境特征

调查样点的海拔1089—2003 m, 平均(1488±241) m; 河宽1.6—16.1 m, 平均(4.8±3.6) m; 水深10.2—38.0 cm, 平均水深(21.1±6.9) cm; 水温10.5—21.5℃, 平均(15.9±4.1)℃; 溶氧7.53—8.88 mg/L, 平均(8.79±0.63) mg/L; 坡度0.4%—12.6%, 平均坡度(3.2±3.0)%; 流速0.06—2.03 m/s, 平均(0.98±0.66) m/s; 底质粗糙度0.08—0.28, 平均0.16±0.05, 水面遮蔽度0.00—0.62, 平均0.27±0.23。由于所有调查样点的透明度均可见底, 未测量到准确数据, 不纳入后续分析。

在调查区域采集到的底栖动物包括蜉蝣目、毛翅目、双翅目、端足目和鞘翅目等共38个分类单元, 各采样点的底栖动物密度(生物量)存在较大差异, 生物量范围为0.02—11.34 mg/m², 平均为(2.54±3.07) mg/m²。

2.3 秦岭细鳞鲑分布密度与环境的关系

鱼类密度与环境因子相关性分析显示, 秦岭细鳞鲑的密度与坡度、海拔、遮蔽度、粗糙度、跌水区密度、底栖动物生物量呈现正相关, 与河宽和水深呈负相关, 与水温 and 溶氧的相关性不明显(表 1)。

RDA排序图(图 3)显示, 密度所指为第四象限, 处于第四象限相反的第二象限中的L1、L10、L14、L20、L21等样点表现出了较低的密度, 而处

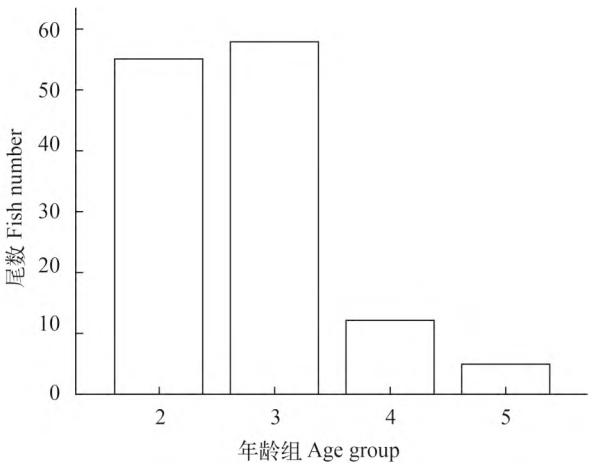


图2 采集样本的年龄组成

Fig. 2 The age structure of sampled fishes

表 1 环境因子及鱼类密度的两两相关性分析

Tab. 1 Pairwise correlation analysis within fish density and environmental factors

	坡度 Slope	河宽 River width	水深 Water depth	水温 Water temperature	流速 Velocity	溶氧 DO	遮蔽度 Coverage	粗糙度 Roughness	跌水区 Fall/pool	底栖生物量 Zoobenthos biomass	海拔 Elevation
坡度 Slope	1.00										
河宽 River width	-0.579	1.00									
水深 Water depth	-0.481	0.385	1.00								
水温 Water temperature	-0.351	0.348	0.020	1.00							
流速 Velocity	0.467	-0.219	-0.164	-0.255	1.00						
溶氧 DO	-0.071	0.042	-0.038	0.323	-0.195	1.00					
遮蔽度 Coverage	0.670	-0.624	-0.499	-0.248	0.538	0.132	1.00				
粗糙度 Roughness	0.690	-0.602	-0.478	-0.125	0.318	0.141	0.643	1.00			
跌水区 Fall/pool	0.748	-0.393	-0.297	-0.178	0.548	-0.080	0.619	0.709	1.00		
底栖生物量 Zoobenthos biomass	0.728	-0.480	-0.419	-0.469	0.430	0.055	0.829	0.549	0.631	1.00	
海拔 Elevation	0.754	-0.453	-0.561	-0.395	0.625	-0.238	0.668	0.561	0.651	0.640	1.00
密度 Density	0.824	-0.668	-0.477	-0.379	0.630	-0.200	0.707	0.756	0.800	0.697	0.761

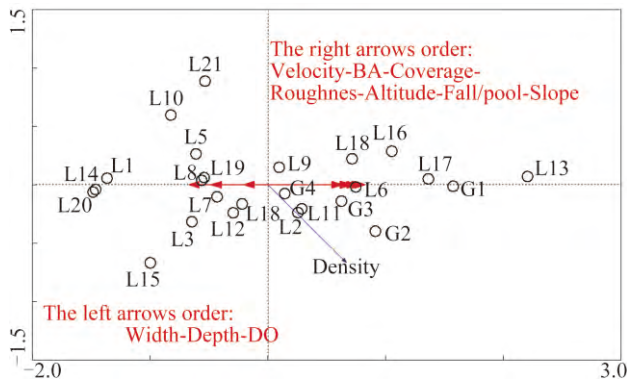


图3 秦岭细鳞鲑的密度与环境因子的RDA排序

Fig. 3 RDA analysis of the density of *Brachymystax lenok tsinlingensis* and environmental factors in different sampling sites

于第一和第四象限的L13、L17、G1、G2等样点鱼类密度较高, 根据各环境因子的指示方向和长度判断, 坡度等7个环境因子与密度呈正相关, 而河宽等3个环境因子与密度呈负相关。各环境因子的贡献率见表2。

2.4 栖息地适合度曲线

将贡献率大于50%的环境因子定义为影响秦岭细鳞鲑分布的关键环境因子。对坡度、跌水区密度、海拔、粗糙度、遮蔽度5个环境因子进行了单因素适合度曲线拟合。结果显示, 秦岭细鳞鲑对海拔、坡度和粗糙度的适宜度呈现“钟形”曲线, 最适坡度为5%—10%, 最适海拔分布为1500—2000 m, 最适粗糙度0.3—0.4; 对跌水区密度和遮蔽度的适宜度呈现抛物线曲线, 遮蔽度在0.5以上时具有较好的环境适宜性, 跌水区密度在12—18个/100 m时具有较好的环境适宜性(图4)。

表2 各环境因子的贡献率

Tab. 2 Contribution of environmental factors

环境因子 Environmental factor	贡献率 Contribution (%)	<i>F</i>	<i>P</i>
坡度Slope	68.7	21.9	0.002
跌水区Fall/pool	64.2	18.5	0.002
海拔Elevation	58.6	14.8	0.003
粗糙度Roughness	57.9	14.3	0.003
遮蔽度Coverage	50.1	9.9	0.011
底栖动物 Zoobenthos biomass	49.3	9.6	0.013
河宽River width	45.2	8.8	0.014
流速Velocity	40.6	7.1	0.017
水深Water depth	23.1	3.3	0.277
水温Water temperature	14.5	1.8	0.412
溶氧DO	4	0.4	0.554

3 讨论

秦岭细鳞鲑是第四纪冰川时期南迁而形成的残留种^[9], 对栖息环境的要求比较苛刻。本研究筛选的关键环境因子中, 坡度和海拔反映了栖息环境的宏观地理属性, 即秦岭细鳞鲑适应于高海拔、大坡度的山涧溪流中上游段。本研究推算的适宜海拔范围也与以往有关秦岭细鳞鲑资源调查中所描述的海拔范围比较一致^[1, 10]。

在本研究中, 秦岭细鳞鲑多在溪流中的跌水区中捕获, 相关性分析的结果也证实了调查样段内秦岭细鳞鲑的密度与跌水区密度密切相关。跌水区具有足够的水深和较缓的流速, 深水可为秦岭细鳞鲑的藏匿提供较好的条件, 较缓的流速则有利于鱼

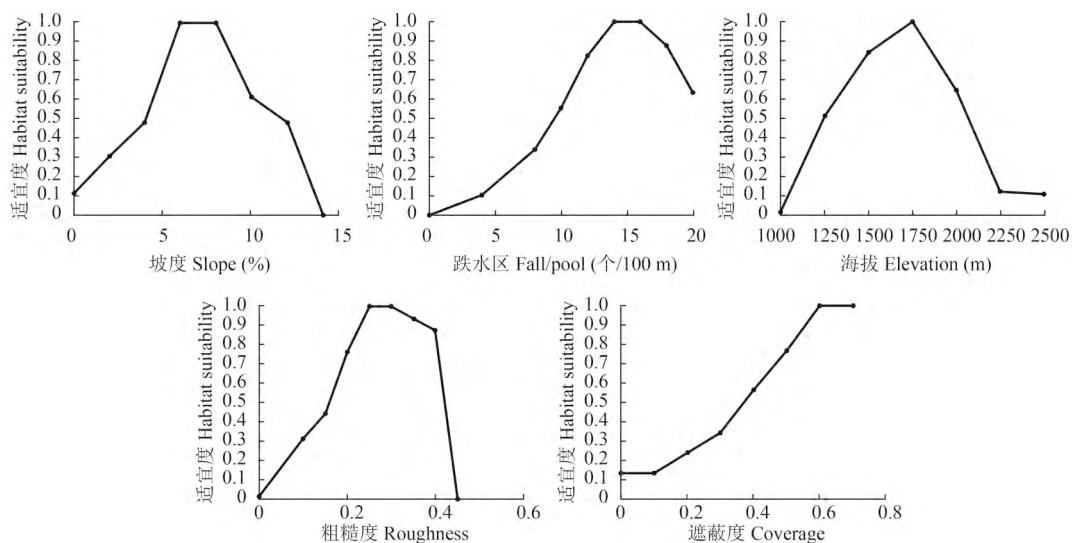


图4 关键环境因子的适合度曲线

Fig. 4 Key environmental factors curves of fish habitat suitability

类减少运动耗能,这种对于跌水区的栖息偏好也在多种鲑科鱼类中得到了证实^[11-13]。

对于很多鲑科鱼类来说,遮蔽度也是一种关键的环境因子, Lee等^[14]认为,较高的遮蔽度可以减少因阳光照射而引起的水温上升,有利于樱花钩吻鲑(*Oncorhynchus masou formosanus*)在夏季的栖息和藏匿。此外,溪流两岸的灌木、植被中栖息着数量众多的陆生昆虫,植被离溪流越近,陆生昆虫成为鱼类食物的可能性越高^[15];同理,底栖动物的密度作为其分布的关键环境因子,也是符合其摄食习性的。

繁殖期的鲑一般选择粗砂底质“筑巢产卵”,而非繁殖期的底质偏好因河流环境而具有一些差异,例如,樱花钩吻鲑选择砾石底质分布^[16],生活于韩国洛东河(Nakdong River)的细鳞鲑喜栖息于基岩或者漂石区域^[17]。虽然两者偏好的底质类型不同,但均表现出粗糙底质的倾向性。本研究采用底质粗糙度来分析秦岭细鳞鲑的底质偏好,得到了相同的结果,复杂、粗糙的底质环境能满足秦岭细鳞鲑的藏匿需求。

本次调查采集的秦岭细鳞鲑样本中,2—3龄个体占总样本的85%以上,加之调查仅在6月进行过一次,因此,本研究结果主要反映秦岭细鳞鲑成体在夏季的环境选择性。关于幼鱼及其他季节的环境偏好性,还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Ren J, Liang G. Resource survey of *Brachymystax lenok tsinlingensis* in Qianhe river valleys of Qinling Mountains [J]. *Journal of Shaanxi Normal University* (Natural Science Edition), 2004, **32**(9): 165—168 [任剑, 梁刚. 千河流域秦岭细鳞鲑资源调查报告. 陕西师范大学学报, **32**(9): 165—168]
- [2] Hou F. Study on the conservation biology of *Brachymystax lenok tsinlingensis* in Gansu Province [D]. Northwest Normal University. 2009 [侯峰. 甘肃秦岭细鳞鲑保护生物学研究. 西北师范大学. 2009]
- [3] Xue C, Wei Q W, Sun Q L, et al. Age and growth of *Brachymystax lenok tsinlingensis* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, **20**(4): 743—749 [薛超, 危起伟, 孙庆亮, 等. 秦岭细鳞鲑的年龄与生长. 中国水产科学, 2013, **20**(4): 743—749]
- [4] Yuan J L, Xie L H, Zhu J J, et al. Analysis of the genetic diversity RAPD in Shaanxi group of *Brachymystax lenok* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2009, **39**(1): 72—75 [原居林, 解林红, 朱俊杰, 等. 陕西秦岭细鳞鲑群体遗传多样性的RAPD分析. 淡水渔业, 2009, **39**(1): 72—75]
- [5] Shi D L, Wei Q W, Sun Q L, et al. Early ontogenesis of

- Brachymystax lenok tsinlingensis* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, **19**(4): 557—567 [施德亮, 危起伟, 孙庆亮, 等. 秦岭细鳞鲑早期发育观察. 中国水产科学, 2012, **19**(4): 557—567]
- [6] Zhang Y P, Du Y Y, Wang T, et al. Population genetic structure of *Brachymystax lenok tsinlingensis* as inferred from mtDNA D-loop sequence [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(17): 4950—4956 [张艳萍, 杜岩岩, 王太, 等. 秦岭细鳞鲑群体遗传结构. 生态学报, 2014, **34**(17): 4950—4956]
- [7] Li P, Wang F, Wen S E. Study on parent fish cultivation and artificial propagation of *Brachymystax lenok tsinlingensis* [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, **24**(6): 841—846 [李平, 王丰, 问思恩. 秦岭细鳞鲑亲鱼培育和人工繁育技术研究. 上海海洋大学学报, 2015, **24**(6): 841—846]
- [8] Zhang Y P, Wang T, Du Y Y, et al. Analysis of the genetic diversity of cultured and wild *Brachymystax lenok tsinlingensis* populations based on mtDNA D-Loop and Cyt b [J]. *Acta Hydrobiological Sinica*, 2014, **38**(5): 828—833 [张艳萍, 王太, 杜岩岩, 等. 秦岭细鳞鲑人工繁育群体与野生群体遗传变异分析. 水生生物学报, 2014, **38**(5): 828—833]
- [9] Li S Z. On a new subspecies of fresh-water trout, *Brachymystax lenok tsinlingensis* from Taipaishan, Shenxi, China [J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 1966, **1**: 92—94 [李思忠. 陕西太白山细鳞鲑链的一新亚种. 动物分类学报, 1966, **1**: 92—94]
- [10] Zhou L G, Yue N Y, Wang W Y, et al. Species diversity and protective suggestion of fish in Shaanxi Niubeiliang nature reserve [J]. *Journal of Shaanxi Normal University* (Natural Science Edition), 2003, **31**(Sup.): 1—4 [周灵国, 岳乃鱼, 王万云, 等. 陕西牛背梁国家级自然保护区鱼类物种多样性调查及保护对策. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2003, **31**(增刊): 1—4.]
- [11] Fausch K D, Northcote T G. Large woody debris and salmonid habitat in a small coastal British Columbia stream [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1992, **49**(4): 682—693
- [12] Sun Q L. Conservation biology of *Brachymystax lenok tsinlingensis* [D]. Huazhong Agriculture University. 2014 [孙庆亮. 秦岭细鳞鲑保护生物学研究. 华中农业大学. 2014]
- [13] Baigún C R M. Characteristics of deep pools used by adult summer steelhead in Steamboat Creek, Oregon [J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 2003, **23**: 1167—1174
- [14] Lee T Y, Huang J C, Kao S J, et al. Modeling the effects of riparian planting strategies on stream temperature: Increasing suitable habitat for endangered Formosan Landlocked Salmon in Shei-Pa National Park [J]. *Taiwan Hydrological Processes*, 2012, **26**(24): 3635—3644
- [15] Hsu C B, Tzeng C S, Yeh C H, et al. Habitat use by the

- Formosan landlocked salmon *Oncorhynchus masou formosanus* [J]. *Aquatic biology*, 2010, **10**(3): 227—239
- [16] Honda K, Kagiwada H, Tojo N, *et al.* Riverine environmental characteristics and seasonal habitat use by adult Sakhalin taimen *Hucho perryi* [J]. *Journal of Fish Biology*, 2010, **77**: 1526—1541
- [17] Yoon J D, Kim J H, Jo H B, *et al.* Seasonal habitat utilization and movement patterns of the threatened *Brachymystax lenok tsinlingensis* in a Korean river [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2015, **98**: 225—236

HABITAT ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF *BRACHYMYSTAX LENOK TSINLINGENSIS*

WU Jin-Ming¹, YANG Huan-Chao^{1,2}, SHAO Jian^{1,2}, DU Hao¹, WANG Cheng-You¹ and WEI Qi-Wei¹

(1. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;

2. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: To evaluate the habitat preference of *Brachymystax lenok tsinlingensis*, fishes were caught for the habitat analysis from 25 sampling sites of Longxian and Qin Zhou National Nature Reserve in June 2013. In total, 130 individuals were captured in 25 sites with the average density (0.10 ± 0.07) ind./m. There was significant difference in the density between two reserves. The fish density was positively correlated with slope, number of fall/pool, elevation, roughness, coverage, zoobenthos biomass, and velocity and it negatively associated with the river width, depth and dissolved oxygen. Redundancy Analysis (RDA) indicated that five key environmental factors (slope, roughness, coverage, elevation and number of fall/pool) influenced the distribution of *Brachymystax lenok tsinlingensis*. Habitat suitability curve was established based on the five measured factors, and the best ranges of them were 5%—10% slope, 1500—2000 m altitude, 0.3—0.4 roughness, 12—18/100 m fall/pool, and more than 0.5 coverage, respectively.

Key words: Qinling Mountains; *Brachymystax lenok tsinlingensis*; Density; Habitat