

# 龙洞山溪鲵的血细胞组成及血红蛋白含量检测

张亚男 熊建利\* 刘强强 闵遥 苟健平 李俊蓉

河南科技大学动物科技学院水生动物适应与进化实验室 洛阳 471023

**摘要:** 血液学指标不仅可以反映动物生理和病理变化, 也能体现动物对环境的适应。本文利用血液学方法检测了 27 尾龙洞山溪鲵 (*Batrachuperus londongensis*) 个体的血细胞组成和血红蛋白含量, 龙洞山溪鲵血红蛋白平均含量为  $4.16 \times 10^{-2}$  g/ml; 红细胞卵圆形, 细胞核椭圆形位于中央或亚中央, 红细胞平均含量为  $6.04 \times 10^4$  个/mm<sup>3</sup>; 白细胞数量较少, 多为圆形或近圆形, 平均含量为  $2.90 \times 10^3$  个/mm<sup>3</sup>; 白细胞中淋巴细胞最多, 其次为单核细胞、嗜碱性细胞和中性细胞, 嗜酸性细胞最少。血液参数中仅中性细胞和嗜碱性细胞的百分比在雌雄之间存在显著差异; 头体长、体重和各血液参数的相关性均不显著。同时, 将研究结果与其他小鲵科动物的数据进行了比较。本文报道的龙洞山溪鲵血细胞组成和血红蛋白含量的基础数据为其后续的健康监测和诊断以及适应进化的研究提供了基础资料。

**关键词:** 血细胞; 血液参数; 小鲵科; 山溪鲵属; 两性差异

**中图分类号:** Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2018) 01-75-07

## Blood Cell Composition and Hemoglobin Concentration in *Batrachuperus londongensis*

ZHANG Ya-Nan XIONG Jian-Li\* LIU Qiang-Qiang MIN Yao GOU Jian-Ping LI Jun-Rong

Laboratory of Adaptation and Avolution of Aquatic Animals, College of Animal Science and Technology, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, China

**Abstract:** Study on the hematology can not only help to understand the physiological and pathological variations of animals, but also detect the adaptation of animals to the environment. However, studies on the hematology of amphibians, especially in the Urodela, are limited. Here, the blood cell composition and hemoglobin concentration of *Batrachuperus londongensis* were researched in 27 individuals. Comparison between sexes was conducted by Independent-Samples *T* Test or Mann-Whitney *U*, and correlations between snout-vent length and body mass (Table 1) and hematological parameters were determined by linear regression. All statistical tests were performed with SPSS software. The mean value of hemoglobin

**基金项目** 国家自然科学基金项目 (No. 31471971, 30900138) 和河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目 (No. 2015GGJS-054);

\* 通讯作者, E-mail: xjlpanda@126.com;

**第一作者介绍** 张亚男, 女, 硕士研究生; 研究方向: 动物的适应与进化; E-mail: 1126360027@qq.com。

收稿日期: 2017-05-04, 修回日期: 2017-09-03 DOI: 10.13859/j.cjz.201801010

concentration was  $4.16 \times 10^{-2}$  g/ml; erythrocytes were oval with ellipsoidal nucleus that was located in the center or eccentric position of the cell (Fig. 1), and mean erythrocyte count was  $6.04 \times 10^4$  cell/mm<sup>3</sup>; the number of leucocytes was small, and its mean count was  $2.90 \times 10^3$  cell/mm<sup>3</sup> (Table 2). The lymphocytes were richest leucocytes, followed by monocytes, basophils, neutrophils, and eosinophils (Table 2). Among the hematological parameters, only the percentage of neutrophils and basophils showed significant sexual difference. Correlations between snout-vent length, body mass and hematological parameters were not significant (Table 3). Meanwhile, comparison between our results with those of other hynobiid salamanders was carried out. These basic data of blood cell component and hemoglobin concentration reported in this study are useful in the health monitoring and diagnosis, and in understanding the evolution and adaptation of *B. londongensis*.

**Key words:** Blood cells; Hematological parameters; Hynobiidae; *Batrachuperus*; Sexual difference

血液是动物有机体的重要组成部分, 担负着运输营养物质和氧气到组织细胞, 并将组织细胞的代谢产物运输到排泄器官的功能 (Arikan et al. 2014)。血液参数不仅能够反映动物生理或病理的变化 (Sarasola et al. 2004, Seaman et al. 2005), 也能反映动物对环境的适应 (Monge et al. 1991), 即血液参数能够反映动物体内外环境的变化 (Davis 2008)。因此, 血液参数被广泛用于动物的健康状况评价以及对环境的适应性研究中。

龙洞山溪鲵 (*Batrachuperus londongensis*) 隶属有尾目 (Urodela) 小鲵科 (Hynobiidae) 山溪鲵属, 是我国特有的有尾两栖动物之一。龙洞山溪鲵的模式产地位于四川峨眉山海拔 1 200 m 的龙洞河, 曾被认为是龙洞山溪鲵的唯一分布种群 (费梁等 2006); 但分子数据显示, 除峨眉山金顶以外的峨眉山其他种群以及包括临近的洪雅县瓦屋山和汉源县泥巴山分布的种群也属于龙洞山溪鲵 (Fu et al. 2008)。龙洞山溪鲵是整个小鲵科物种中唯一具有童体型现象的物种 (费梁等 1983)。迄今, 有关龙洞山溪鲵的研究相对较少, 仅见其部分器官组织的显微结构 (李丹等 1992) 以及精子超微结构研究 (郑中华等 2005)。本文对采自四川洪雅瓦屋山种群龙洞山溪鲵的血细胞组成和血红蛋白含量进行报道, 以期提供龙洞山溪鲵血液学基本数据, 为后期该物种的健康状况评价以及适应与

进化研究提供依据。

## 1 材料与方法

本研究共用 27 尾 (15♀, 12♂) 健康的龙洞山溪鲵成体, 所有个体均于 2015 年 7 月采自瓦屋山山顶 (29°38'20.40"N, 102°57'7.20"E, 海拔 2 650 m), 该种群已被分子数据证实为龙洞山溪鲵 (Fu et al. 2008)。在进行血液采集前, 对所有个体进行外观检查确定健康状况。然后将动物麻醉, 利用电子数显卡尺 (上海申韩量具有限公司, 量程 0~150 mm, 精度 0.1 mm) 测量头体长 (snout-vent length), 用 JA21002 型电子天平 (上海舜宇恒平科学仪器有限公司, 量程 0~2 100 g, 精度 0.1 g) 称量体重 (body mass)。将动物固定于解剖盘, 用解剖剪剪开胸腔, 暴露心及动脉干, 剪断动脉干后用微量吸血管采集血液。雌雄通过观察性腺来鉴别。红细胞数量采用 XB-K-25 型牛鲍氏血细胞计数板 (上海求精生化试剂仪器有限公司) 测定; 血红蛋白采用 W920 沙利氏血红蛋白计 (泰州为尔康医用品有限公司) 测定; 白细胞数量根据血涂片中 10 个不重复随机视野中红细胞和白细胞的比例以及红细胞数量来计算; 白细胞的分类计数根据不重复视野中 100 个白细胞的计数来计算。血细胞观察采用血涂片经瑞氏染色后在 CX31 型 Olympus 显微镜下观察, 细胞图片利用显微镜用数码彩色相机 (DP26, Olympus)

拍照。

为检验血液参数是否存在两性差异，我们对血液参数进行了雌雄间的比较。在比较之前，首先对数据进行正态分布检验，对于呈正态分布的参数采用参数检验（独立样本  $T$ ），否则采用非参数检验（Mann-Whitney  $U$ ）；同时利用回归分析检验头体长、体重与血液参数的相关性。所有分析采用 SPSS 22.0 统计软件进行，显著水平  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果

龙洞山溪鲃雌性与雄性的头体长 ( $t = 2.043$ ,  $df = 25$ ,  $P = 0.052$ ) 和体重 ( $t = 0.557$ ,  $df = 25$ ,  $P = 0.583$ ) 均无显著差异（表 1）。

龙洞山溪鲃红细胞呈卵圆形（图 1a），细胞长径  $33.29 \sim 40.14 \mu\text{m}$ ，细胞短径  $19.80 \sim 23.52 \mu\text{m}$ ；椭圆形的细胞核位于红细胞中央或亚中央，细胞核长径  $14.40 \sim 16.99 \mu\text{m}$ ，短径  $8.59 \sim 10.96 \mu\text{m}$ 。淋巴细胞圆形或椭圆形，细胞质较少，多集中在细胞边缘；根据大小，淋巴细胞可分为两类——大淋巴细胞和小淋巴细胞

表 1 龙洞山溪鲃的头体长和体重

Table 1 Descriptive statistics for snout-vent length and body mass of *Batrachuperus londongensis*

性别 Sex	样本数 Number	头体长 Snout-vent length (mm)			体重 Body mass (g)		
		均值 Mean	标准误 Standard error SE	范围 Range	均值 Mean	标准误 Standard error SE	范围 Range
雌性 Female	15	86.71	1.71	74.21 ~ 96.68	19.09	1.20	12.53 ~ 27.93
雄性 Male	12	79.91	3.05	60.26 ~ 93.61	17.88	1.91	7.98 ~ 26.10

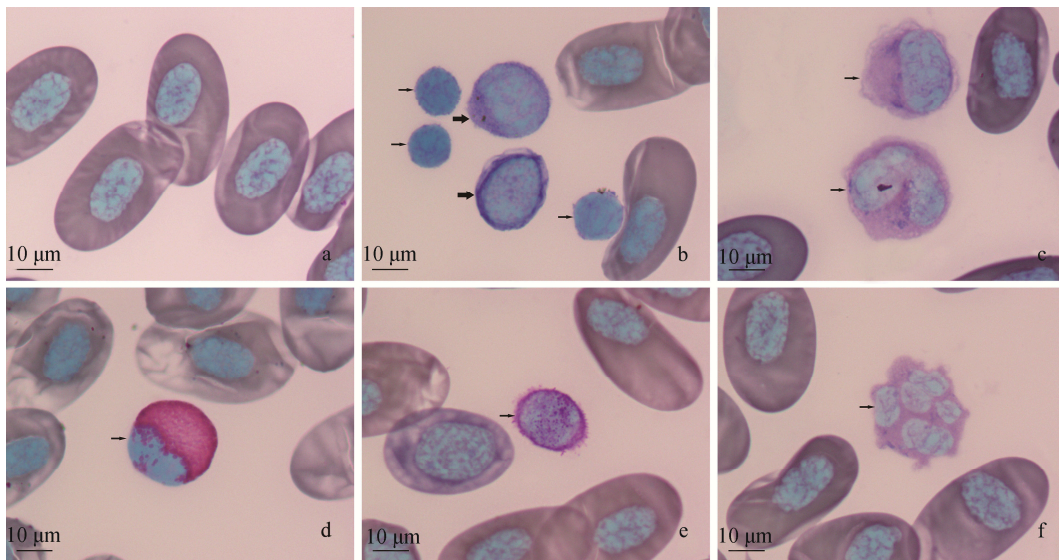


图 1 龙洞山溪鲃的血细胞

Fig. 1 Blood cells of *Batrachuperus londongensis*

a. 红细胞；b. 淋巴细胞：小淋巴细胞（细箭头），大淋巴细胞（粗箭头）；c. 单核细胞（箭头）；d. 嗜酸性细胞（箭头）；e. 嗜碱性细胞（箭头）；f. 中性细胞（箭头）。

a. Erythrocytes; b. Lymphocytes: small lymphocytes (thin arrow), large lymphocytes (rough arrow); c. Monocytes (arrow); d. Eosinophils (arrow); e. Basophils (arrow); f. Neutrophils (arrow).

胞(图 1b); 大淋巴细胞直径 17.63 ~ 25.26  $\mu\text{m}$ , 小淋巴细胞直径 11.53 ~ 18.85  $\mu\text{m}$ 。单核细胞多为圆形, 直径 17.56 ~ 2.52  $\mu\text{m}$ , 细胞核较大, 占细胞大小的一半或 2/3, 有的分叶, 有的不分叶(图 1c)。嗜酸性细胞近圆形, 直径 18.10 ~ 26.02  $\mu\text{m}$ , 细胞质被染成鲜艳红色, 细胞核多呈马蹄形(图 1d)。嗜碱性细胞近圆形, 直径 12.59 ~ 25.44  $\mu\text{m}$ , 细胞核较大, 细胞质在细胞边缘常密集在一起, 着色很深, 形成一个紫红色的圆环(图 1e)。中性细胞球形或不规则, 直径 19.05 ~ 23.31  $\mu\text{m}$ , 具有单叶或多叶的核(图 1f)。

龙洞山溪鲵的血细胞组成和血红蛋白含量统计结果见表 2。血红蛋白、白细胞数量和红

细胞数量雌性与雄性差异均不显著(血红蛋白:  $t = 0.300$ ,  $df = 25$ ,  $P = 0.767$ ; 红细胞数量:  $t = -0.264$ ,  $df = 25$ ,  $P = 0.794$ ; 白细胞数量:  $t = -0.805$ ,  $df = 25$ ,  $P = 0.428$ )。白细胞中, 淋巴细胞最多, 其次为单核细胞、嗜碱性细胞和中性细胞, 嗜酸性细胞最少。白细胞组成中, 雌性的中性细胞百分比(Mann-Whitney  $U$ :  $z = -2.019$ ,  $P = 0.043$ ) 低于雄性, 而嗜碱性细胞百分比(Mann-Whitney  $U$ :  $z = -2.166$ ,  $P = 0.032$ ) 高于雄性; 其他类型白细胞, 淋巴细胞、单核细胞和嗜酸性细胞百分比雌雄差异不显著, 中性细胞与淋巴细胞的比值亦不存在两性差异(Mann-Whitney  $U$ :  $z = -1.864$ ,  $P = 0.062$ )。线性回归分析显示(表 3), 头体长、体重和各

表 2 龙洞山溪鲵的血细胞组成和血红蛋白含量

Table 2 Descriptive statistics for the component of blood cells and hemoglobin concentration in *Batrachuperus londongensis*

指标 Characters	标本数 Number	性别 Sex	均值 Mean	标准误 Standard error SE	范围 Range
血红蛋白 ( $10^{-2}$ g/ml)	15	♀	4.22	0.24	2.17 ~ 6.50
Hemoglobin concentration	12	♂	4.08	0.43	1.50 ~ 6.08
	27	♀♂	4.16	0.23	1.50 ~ 6.50
	15	♀	5.90	0.72	1.00 ~ 9.50
红细胞数 ( $10^4$ 个/ $\text{mm}^3$ )	12	♂	6.21	0.95	1.50 ~ 10.50
	27	♀♂	6.04	0.57	1.00 ~ 10.50
	15	♀	3.01	0.36	0.47 ~ 5.72
白细胞数 ( $10^3$ 个/ $\text{mm}^3$ )	12	♂	2.76	0.47	0.54 ~ 5.33
	27	♀♂	2.90	0.28	0.47 ~ 5.72
	15	♀	2.80	0.82	0 ~ 12
中性细胞 (%)	12	♂	6.50	1.55	0 ~ 15
	27	♀♂	4.44	0.89	0 ~ 15
	15	♀	79.87	2.46	67 ~ 95
淋巴细胞 (%)	12	♂	80.75	2.06	71 ~ 93
	27	♀♂	80.26	1.62	67 ~ 95
	15	♀	5.67	0.77	1 ~ 11
嗜碱性细胞 (%)	12	♂	3.25	0.61	1 ~ 8
	27	♀♂	4.59	0.55	1 ~ 11
	15	♀	4.80	1.42	0 ~ 17
嗜酸性细胞 (%)	12	♂	1.58	0.62	0 ~ 8
	27	♀♂	3.37	0.88	0 ~ 17
	15	♀	5.50	1.05	1 ~ 14
单核细胞 (%)	12	♂	6.82	0.80	2 ~ 12
	27	♀♂	6.08	0.69	1 ~ 14
	15	♀	0.04	0.01	0 ~ 0.18
中性细胞/淋巴细胞	12	♂	0.09	0.02	0 ~ 0.20
	27	♀♂	0.06	0.01	0 ~ 0.20

表 3 龙洞山溪鲵头体长、体重和血液参数的相关性

Table 3 Correlation between SVL, body mass and hematological parameters in *Batrachuperus londongensis* based on linear regression analysis

指标 Characters	头体长 (mm) Snout-vent length	体重 (g) Body mass
血红蛋白 Hemoglobin Hb ( $10^{-2}$ g/ml)	$F_{1,25} = 1.148, P = 0.294$	$F_{1,25} = 1.256, P = 0.273$
红细胞数 Erythrocyte ( $\text{mm}^3$ )	$F_{1,25} = 0.735, P = 0.399$	$F_{1,25} = 0.314, P = 0.580$
白细胞数 Leucocyte ( $\text{mm}^3$ )	$F_{1,25} = 0.936, P = 0.343$	$F_{1,25} = 0.611, P = 0.442$
中性细胞 Neutrophil (%)	$F_{1,25} = 1.681, P = 0.207$	$F_{1,25} = 0.602, P = 0.445$
淋巴细胞 Lymphocyte (%)	$F_{1,25} = 0.207, P = 0.653$	$F_{1,25} = 0.303, P = 0.587$
嗜碱性细胞 Basophil (%)	$F_{1,25} = 2.369, P = 0.136$	$F_{1,25} = 1.922, P = 0.178$
嗜酸性细胞 Eosinophil (%)	$F_{1,25} = 0.391, P = 0.538$	$F_{1,25} = 0.043, P = 0.838$
单核细胞 Monocyte (%)	$F_{1,25} = 0.140, P = 0.712$	$F_{1,25} = 0.085, P = 0.773$
中性细胞/淋巴细胞 Neutrophils / Lymphocytes	$F_{1,25} = 1.341, P = 0.258$	$F_{1,25} = 0.469, P = 0.500$

血液参数的相关性均不显著。

### 3 分析与讨论

两性异形 (sexual dimorphism) 是动物界中一个较为普遍的现象 (Andersson 1994, Fairbairn 1997, Wells 2007)。两性异形特征涉及动物的多个方面, 如身体大小、身体形状、颜色、行为等 (Duellman et al. 1994)。有尾目动物的血液学参数也存在两性差异, 如摩尔蛛螈 (*Ambystoma talpoideum*) 的中性细胞与淋巴细胞的比值 (Davis et al. 2008a)、利西亚蛛螈 (*Lyciasalamandra fazilae*) 的白细胞数量 (Tok et al. 2009) 均存在性别差异。本研究发现龙洞山溪鲵的中性细胞和嗜碱性细胞的百分比在雌雄之间存在显著的差异。中性细胞是一类具有趋化作用、吞噬作用和杀菌作用的细胞 (Arikan et al. 2014), 嗜碱性细胞是一类与炎症反应相关的细胞 (Davis 2009)。龙洞山溪鲵中性细胞和嗜碱性细胞的两性差异表明两种细胞的功能在雌雄之间存在差异。

中性细胞与淋巴细胞的比值被用来反映动物的生理应激水平 (Davis et al. 2008a, b), 因为应激激素 (糖皮质激素) 的增加可导致中性细胞数量的增加和淋巴细胞数量的降低, 从而导致中性细胞与淋巴细胞的比值变大。故中性

细胞与淋巴细胞比值的大小与动物受到的应激水平呈正相关。常见的引起应激激素增加的因素包括化学污染、人类活动、疾病等 (Davis et al. 2008b, Barriga-Vallejo et al. 2015)。在有尾目动物中, 中性细胞和淋巴细胞的比值范围在 0.08 ~ 9.33 之间 (Davis 2009)。本研究中龙洞山溪鲵的中性细胞和淋巴细胞的比值在雌雄之间差异不显著, 均值为 0.06, 低于已知的其他有尾目动物的比值。这表明该种群的龙洞山溪鲵个体受到的应激水平在雌雄间相似, 且低于已知的其他有尾目动物。本研究中的龙洞山溪鲵标本采自四川瓦屋山山顶, 植被较好, 无农业耕种活动, 同时人类活动影响仅来自于有限的游人, 故该生境中应激源较少, 这可能是龙洞山溪鲵具有较低的中性细胞和淋巴细胞比值的原因。

小鲵科动物由于主要分布于亚洲, 被认为是亚洲特有的有尾两栖动物 (Fu 2003), 现已描述 67 种, 隶属 2 亚科 10 属 (Frost 2017)。然而, 有关小鲵科动物血液学的研究则相对较少, 迄今仅见于云斑小鲵 (*Hynobius nebulosus*)、对马小鲵 (*H. tsuensis*)、日本爪鲵 (*Onychodactylus japonicas*) (Kuramoto 1981)、东北小鲵 (*H. leechii*) (马德滨等 2003, 王丽文 1996, 马德滨 2005)、北方山溪鲵

(*Batrachuperus tibetanus*) (黄敏毅等 2004)、极北鲵 (*Salamandrella keyserlingii*) (马德滨 2005)、新疆北鲵 (*Ranodon sibiricus*) (叶小芳等 2012) 和商城肥鲵 (*Pachyhynobius shangchengensis*) (王松等 2008) 的报道。龙洞山溪鲵的血细胞形态与上述这些小鲵科物种的血细胞形态相似。在两栖动物中, 血细胞具有相似的形态特征, 如细胞的形状、细胞核的形状和细胞质中的颗粒 (Meesawat et al. 2016)。在血液参数方面, 龙洞山溪鲵的平均红细胞数为  $6.04 \times 10^4$  个/mm<sup>3</sup>, 仅高于新疆北鲵的 17 000 个/mm<sup>3</sup> (叶小芳等 2012); 平均白细胞数为  $2.90 \times 10^3$  个/mm<sup>3</sup>, 是上述这几个物种中数量最少的; 平均血红蛋白为  $4.16 \times 10^{-2}$  g/ml, 显著小于东北小鲵的血红蛋白含量 (王丽文 1996); 在白细胞分类计数方面, 淋巴细胞数量最多, 而其他 4 种白细胞的百分比在不同物种间存在明显的变化, 如在新疆北鲵中百分比含量从高到低依次为中性细胞、单核细胞、嗜酸性细胞和嗜碱性细胞 (叶小芳等 2012), 北方山溪鲵中则为中性细胞、单核细胞、嗜碱性细胞和嗜酸性细胞 (黄敏毅等 2004)。总体而言, 龙洞山溪鲵的血液参数值和同属物种——北方山溪鲵的血液参数值最接近。这些研究结果表明, 血液参数在不同的物种之间存在差异, 而同属物种则具有接近的血液参数值。Vernberg (1955) 发现活动水平较高的蝾螈具有较小且较多的红细胞。Ruiz 等 (1983) 发现高海拔生活的 *Telmatobius* 属的 4 个物种均具有数量较多、面积较小的红细胞; 低海拔的安第斯山蟾蜍 (*Bufo spinulosus*) 比高海种群具有较高的血细胞比容, 而高海拔种群的个体具有较小的红细胞, 较高的血红蛋白浓度和红细胞数量 (Ruiz et al. 1989)。由此可见, 血液参数值的变化不仅与物种的分类地位有关, 而且与物种的生活环境、生活习性以及活动水平等因素密切相关。

**致谢** 感谢中国科学院成都生物研究所曾晓茂研究员在野外标本采集过程中提供的帮助, 以及河南科技大学动物科技学院孙原野、董宝霞、

侯丽娥在实验过程中的帮助。

## 参 考 文 献

- Andersson M. 1994. *Sexual Selection*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Arikan H, Çiçek K. 2014. Haematology of amphibians and reptiles: A review. *North-West Journal of Zoology*, 10(1): 190–209.
- Barriga-Vallejo C B, Hernandez-Gallegos O, Herbing I H V, et al. 2015. Assessing population health of the Toluca Axolotl *Ambystoma rivulare* (Taylor, 1940) from México, using leukocyte profiles. *Herpetological Conservation and Biology*, 10(2): 592–601.
- Davis A K. 2008. Ontogenetic changes in erythrocyte morphology in larval mole salamanders, *Ambystoma talpoideum*, measured with image analysis. *Comparative Clinical Pathology*, 17(1): 23–28.
- Davis A K. 2009. The Wildlife Leukocytes Webpage: The ecologist's source for information about leukocytes of wildlife species. [DB/OL] [2017-05-28]. <http://wildlifehematology.uga.edu/>.
- Davis A K, Maerz J C. 2008a. Sex-related differences in hematological stress indices of breeding paedomorphic mole salamanders. *Journal of Herpetology*, 42(1): 197–201.
- Davis A K, Maney D L, Maerz J C. 2008b. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrate: a review for ecologists. *Functional Ecology*, 22(5): 760–772.
- Duellman W E, Trueb L. 1994. *Biology of Amphibians*. Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press.
- Fairbairn D J. 1997. Allometry for sexual size dimorphism: Pattern and process in the coevolution of body size in males and females. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28: 659–687.
- Frost D R. 2017. *Amphibian Species of the World: an Online Reference*. Version 6.0. New York, USA: American Museum of Natural History. [M/OL] [2017-03-29]. <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>.
- Fu J Z. 2003. Asiatic salamanders (Hynobiidae)//Hutchins M, Duellman W E, Schlager N. *Grzimek's Animal Life Encyclopedia. Amphibians*. Vol. 6. 2nd ed. MI: Gale Group, 335–342.
- Fu J Z, Zeng X M. 2008. How many species are in the genus

- Batrachuperus*? A phylogeographical analysis of the stream salamanders (family Hynobiidae) from southwestern China. *Molecular Ecology*, 17(6): 1469–1488.
- Kuramoto M. 1981. Relationships between number size and shape of red blood cells in amphibians. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 69(4): 771–775.
- Meesawat S, Kitana N, Kitana J. 2016. Hematology of wild caught *Hoplobatrachus rugulosus* in northern Thailand. *Asian Herpetological Research*, 7(2): 131–138.
- Monge C, León-velarde F. 1991. Physiological adaptation to high altitude: Oxygen transport in mammals and birds. *Physiological Reviews*, 71(4): 1135–1173.
- Ruiz G, Rosenmann M, Veloso A. 1983. Respiratory and hematological adaptations to high altitude in *Telmatobius* frogs from the Chilean Andes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 76(1): 109–113.
- Ruiz G, Rosenmann M, Veloso A. 1989. Altitudinal distribution and blood values in the Toad, *Bufo spinulosus* Wiegmann. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 94(4): 643–646.
- Sarasola J H, Negro J J, Travaini A. 2004. Nutritional condition and serum biochemistry for free-living Swainson's Hawks wintering in central Argentina. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 137(4): 697–701.
- Seaman D A, Guglielmo C G, Williams T D. 2005. Effects of physiological state, mass change and diet on plasma metabolite profiles in the western sandpiper *Calidris mauri*. *Journal of Experimental Biology*, 208(4): 761–769.
- Tok C V, Tosunoğlu M, Ayaz D, et al. 2009. Hematology of the Lycian Salamander, *Lyciasalamandra fazilae*. *North-West Journal of Zoology*, 5(2): 321–329.
- Vernberg J F. 1955. Hematological studies on salamanders in relation to their ecology. *Herpetologica*, 11(2): 129–133.
- Wells K D. 2007. *The Ecology and Behavior of Amphibians*. Chicago: University of Chicago Press.
- 费梁, 胡淑琴, 叶昌媛, 等. 2006. 中国动物志: 两栖纲 上卷 有尾目. 北京: 科学出版社.
- 费梁, 叶昌媛, 田婉淑. 1983. 山溪鲵属的分类探讨及一新种的描述. *动物分类学报*, 8(2): 209–219.
- 黄敏毅, 张育辉, 王宏元. 2004. 北方山溪鲵外周血细胞的组织学观察. *陕西师范大学学报: 自然科学版*, 32(3): 87–90.
- 李丹, 方盛国, 陈冠群. 1992. 龙洞山溪鲵部分器官组织的扫描电镜观察. *四川师范大学学报: 自然科学版*, (5): 120–122.
- 马德滨. 2005. 东北小鲵和极北鲵血细胞形态学参数研究. *哈尔滨学院学报*, 26(10): 123–124.
- 马德滨, 吴伟峰, 魏红. 2003. 东北小鲵和东方蝾螈血细胞形态学参数研究. *高师理科学刊*, 23(1): 44–45.
- 王丽文. 1996. 东北小鲵血细胞形态观察及血液检验分析. *沈阳师范学院学报: 自然科学版*, 14(3): 53–56.
- 王松, 徐景霞. 2008. 商城肥鲵的血细胞形态观察及血液检验分析. *安徽农业科学*, 36(3): 1069–1070.
- 叶小芳, 张佳佳, 袁亮, 等. 2012. 新疆北鲵血液学研究. *新疆畜牧业*, (11): 33–36.
- 郑中华, 江建平, 谢锋. 2005. 龙洞山溪鲵精子的超微结构. *动物学报*, 51(4): 703–709.