

福建虎伯寮国家级自然保护区眼斑水龟的生境选择

胡庆如^① 杨江波^① 林 柳^{①*} 肖繁荣^① 汪继超^① 史海涛^{①②*}

① 海南师范大学生命科学学院 海口 571158; ② 中国科学院成都生物研究所 成都 610041

摘要: 2014年8月至2015年10月,在福建虎伯寮国家级自然保护区(24°30'05"N ~ 24°56'20"N, 117°12'42"E ~ 117°22'45"E)采用访问调查、笼捕法及样方法进行眼斑水龟(*Sacalia bealei*)种群分布和生境选择研究。结果表明:(1)眼斑水龟的种群相对密度为0.003 0只/笼捕日,主要分布于溪流一级分支;(2)对一级分支、溪流主干和二级分支间21个生态因子的差异性检验表明,一级分支与主干在其中13个因子上差异显著或极显著,而一级分支与二级分支在其中16个因子上差异显著或极显著。因此眼斑水龟偏好分布的一级分支与主干及二级分支间存在显著的生境差异,其生境特征表现为:人为干扰距离较大(250.17 ± 27.03) m、海拔中等(276 ~ 389 m)、坡度较缓(18.50 ± 2.21)°,溪流的水面宽度适中(3.86 ± 0.17) m、水深较大(0.95 ± 0.13) m、水流较缓(0.29 ± 0.02) m/s、基底类型为石质,溪流两侧的植被郁闭度较大(50.10% ± 3.56%)、果树丰度较高(1.40 ± 0.20)株/m²、地面落叶厚度较大(4.97 ± 0.16) cm,并且溪流中石洞数目(0.26 ± 0.02)个/m²和露石率(47.10% ± 2.27%)最高、水生动物种类(3.97 ± 0.26)种/m²和密度(5.03 ± 0.35)个/m²也较高。根据本文的研究结果,我们认为保护好溪流两岸植被,同时减少偷猎行为的发生,对眼斑水龟野生种群的保护将会有积极的作用。

关键词: 眼斑水龟; 种群密度; 生境选择; 溪流分级

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2016) 04-517-12

Habitat Selection Factors of the Beal's Eyed Turtle (*Sacalia bealei*) at Huboliao National Nature Reserve, Fujian Province

HU Qing-Ru^① YANG Jiang-Bo^① LIN Liu^{①*} XIAO Fan-Rong^① WANG Ji-Chao^①
SHI Hai-Tao^{①②*}

① College of Life Science, Hainan Normal University, Haikou 571158; ② Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31372228), 海南省自然科学基金项目 (No. 20153135), 海南师范大学教授 (博士) 科研启动项目;

* 通讯作者, E-mail: haitao-shi@263.net, kylelinliu@163.com;

第一作者介绍 胡庆如, 男, 硕士研究生; 研究方向: 龟类生态与保护; E-mail: 858004496@qq.com。

收稿日期: 2016-2-23, 修回日期: 2016-05-06 DOI: 10.13859/j.cjz.201604002

Abstract: The Beal's Eyed Turtle (*Sacalia bealei*) is critically endangered in China. We conducted a study on their population distribution and habitat selection at Huboliao National Nature Reserve in Fujian Province (24°30'05"N - 24°56'20"N, 117°12'42"E - 117°22'45"E) from August 2014 to October 2015 by cage trapping method based on the knowledge we got from the local people. The relative population density of Beal's Eyed Turtle was 0.003 0/cage day. Five turtles were captured from the steam primary tributary and no any individuals were captured in the main stream and secondary tributary. We set 30 plots with 10 × 10 m² each to collect the habitat characteristics in the the main stream, primary and second tributary to compare the variation of 21 ecological factors between them. The ecological factors such as number of woody plant species, thickness of deciduous leaves, percentage of exposed stones, slope and water depth were analyzed by One-way ANOVA, vegetation type, soil type, substrate type and obscured object type were analyzed by Chi-square test, while woody plant density, crown density, number of benthos species, number of benthos density, distance to human disturbance, elevation, number of stone caves, flow water speed, stream width, fruiter abundance, number of herbage species and herbage density were analyzed by Kruskal-Wallis Test with the paired-comparisons. A significant difference was detected for 13 factors between the primary tributary and main stream, and for 16 factors between the primary and secondary tributary (Table 1). These result indicated that the Beal's Eyed Turtle prefer the habitat of primary tributary due to it providing a larger shelters, more plentiful fruiter, more ovipositing sites and far from human disturbance. The habitat of the primary tributary had following characteristics: longer distance to human disturbance (250.17 ± 27.03 m), medium elevation (276 - 389 m), mild slope (18.50° ± 2.21°), medium water depth (3.86 ± 0.17 m), larger canopy density (50.10% ± 3.56%), higher fruiter abundance (1.40 ± 0.20 ind/m²), deeper deciduous leaves (4.97 ± 0.16 cm), more stony substrate, more stone caves (0.26 ± 0.02 /m²), more percentage of exposed stones (47.10% ± 2.27%), higher density (5.03 ± 0.35 ind/m²) and species richness of benthos (3.97 ± 0.26 /m²). In order to assure the sustainable survival of Beal's Eyed Turtle, we provided conservation suggestions, such as forest conservation and anti-poaching would be conducted immediately.

Key words: Beal's Eyed Turtle, *Sacalia bealei*; Population density; Habitat selection; Stream rank

眼斑水龟 (*Sacalia bealei*) 为中国特有种, 分布于广东、福建、安徽、江西、湖南和香港等地 (van Dijk et al. 2012)。由于具有独特的美丽眼斑, 眼斑水龟受到国内外养龟爱好者的追捧, 因人工繁殖尚不成功, 其种源仍主要来自野生种群, 导致其在多地遭到持续的非法捕猎和贸易, 野外已极为罕见 (Shi et al. 2005, Cheung 2007, Gong et al. 2009)。IUCN 红色名录已将眼斑水龟列为濒危等级 (Buhlmann et al. 2000), 国际龟类专家组 (The IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group) 将其列为极度濒危等级 (van Dijk et al. 2011), CITES 在 2013 年将眼斑水龟的保护级别由附

录III提升为附录II。当前对眼斑水龟的研究仅限于形态解剖、血液、低温应激 (Cheung 2007)、遗传学 (Li et al. 2014) 和分类学 (Shi et al. 2008) 等方面, 而有关野外生态学的研究尚为空白, 不利于对其开展有效保护和科学管理。

生境作为生物生存的空间, 决定物种的资源利用、避护所、繁殖的有效性 (颜忠诚等 1998, 尚玉昌 2014)。生境选择是生物对可利用生境作出反应和决策的一个行为过程, 是动物对栖息地的非随机利用 (Hutto 1985); 生境选择还可以理解为动物对异质环境的响应, 突出表现为对某一或某些生境斑块的偏好或在某些外部因素影响下被迫在不同生境斑块间作出

选择(张晓爱等 2003)。生境选择研究对于探讨物种濒危机制、评估生境质量、预测生境负载量、制定合理的保护策略和资源管理方案等均具有重要意义(魏辅文等 1998, Carriere 2010)。因此,围绕龟类生境选择和利用的研究已成为珍稀濒危龟类保护的一个重要内容(Ficetola et al. 2004, 汪继超 2007)。

1 研究区域及方法

1.1 研究区域

研究区域位于福建省南靖县虎伯寮国家级自然保护区(24°30'05"N ~ 24°56'20"N, 117°12'42"E ~ 117°22'45"E),区内以中低山地地形为主(海拔 137.0 ~ 874.5 m),水系发达,溪流众多且呈树枝状分布。保护区属于亚热带海洋性季风气候,气候温暖湿润,年平均气温 21.1°C,最冷月为 1 月(平均 10.9°C),最热月为 7 月(平均 26.7°C);年平均降雨量 1 587.5 ~ 1 879.6 mm,相对湿度为 81.4%。研究地以南亚热带常绿阔叶林、针阔混交林和竹林为主,其中动植物资源丰富。

1.2 研究方法

1.2.1 笼捕法 于 2014 年 8 月 20 日至 2014 年 10 月 24 日选取虎伯寮保护区象溪至大岭段,将溪流等级分为主干、一级和二级分支,参照龚世平等(2006)的方法,对主干和沿途 6 条一级分支及其二级分支进行系统抽样调查,沿河沟流向每隔 30 ~ 50 m 选取一个水潭作为布笼点,选择规格为长 55 cm、直径 25 cm 的两端内陷开口的筒状网笼,内部放置咸鱼等肉类作为诱饵诱捕眼斑水龟。每个捕捉点视情况连续捕捉 3 ~ 5 d,每天检查一次笼具。使用 GPS (Magellan Triton 400E, USA) 对每个布笼点进行定位。

1.2.2 访问调查法 在研究期间,对当地居民、猎人和保护区工作人员等进行访谈。访谈时,为避免主观诱导对调查结果的影响(White et al. 2005),参考相关两栖爬行动物野外访问调查方法(Liu et al. 2013),先给访问对象展示当地有

记录分布的淡水龟图片,介绍龟的形态特征和生活习性,询问其在当地见过哪些龟类、能否区分、什么时间在什么样的环境中发现、数量动态等问题。调查中,如果了解到居民家里养有活体野生龟,则亲自去查看、鉴定、询问龟的来源等详细情况。

1.2.3 样方法 研究地溪流呈树枝状分布,分支点往往造成溪流物理、化学和生物因素的间断性(Kiffney et al. 2006),分支之间的生境异质性可以影响动物的种群分布和密度(Grant et al. 2007)。主干、一级分支和二级分支不同生境类型间眼斑水龟种群密度调查结果显示有较大差异,同时因实体捕获量较小,样本量无法满足使用“捕获点-对照点”对比分析的统计方法,故采取“利用-系统对照”(杨春花 2007)的方法在主干、一级分支和二级分支各系统抽取 30 个点进行样方调查,以样点为中心 10 m × 10 m 大样方内测量植被类型、植被郁闭度、木本植物的种类及密度、落叶厚度、土壤类型、基底类型、露石率和石洞数目,1 m × 1 m 小样方内测量草本植物的种类和密度、水生动物种数和密度,测量样地中心的坡度、水宽、水深、流速和人为干扰距离。

植被郁闭度(crown density, %): 目测植被上层(树冠及竹冠)对林下层的遮荫程度。

木本植物种类(number of woody plant species, 种/m²): 计算 10 m × 10 m 样方内乔木、灌丛和藤本的种类。

木本植物密度(woody plant density, 株/m²): 计算 10 m × 10 m 样方内乔木、灌丛和藤本的数量。

草本种类(number of herbage species, 种/m²): 计算 1 m × 1 m 样方内草本的种类。

草本密度(herbage density, 株/m²): 计算 1 m × 1 m 样方内草本的数量。

水生动物种数(number of benthos species, 种/m²): 笼捕法和目测法计数 1 m × 1 m 样方中水生动物的种类数。

水生动物密度(number of benthos density,

个/m²): 计算 1 m × 1 m 样方内水生动物的个数。

落叶厚度 (thickness of deciduous leaves, cm): 测量 10 m × 10 m 样方内落叶的平均厚度。

露石率 (percentage of exposed stones, %): 测量 10 m × 10 m 样方内裸露石头占整个水面的百分比。

石洞数目 (number of stone caves, 个): 计算 10 m × 10 m 样方内龟可以藏身的石洞数目。

坡度 (slope degree, °): 测量样方中心的坡度大小。

水宽 (stream width, m): 样点为中心 5 m 流程内的最大水面宽度。

水深 (water depth, m): 样点为中心 5 m 流程内的最大水深度。

流速 (flow water speed, m/s): 自制泡沫板, 计算样点为中心 5 m 流程内的平均水面流速。

人为干扰距离 (distance of human disturbance, m): 估测样方中心到最近人为活动点 (公路、房屋、农田等) 的直线距离。

植被类型 (vegetation type): 常绿阔叶林 1, 针阔混交林 2, 针叶林 3, 竹林 4, 灌丛 5。

土壤类型 (soil type): 选取小样方中心 10 cm 深土壤, 用手摸目测法判定 (刘孝义 1982), 分为砂土 1、壤土 2。

基底类型 (substrate type): 沙质 1, 石质 2, 沙石混合质 3。

果树丰度 (fruiter abundance): 计算 10 m × 10 m 样方内南酸枣 (*Choerospondias axillaris*)、青果榕 (*Ficus variegata* var. *chlorocarpa*) 和小叶榕 (*F. concinna*) 等天然果树的数目, 一棵记为 1, 两棵记为 2, 三棵记为 3, 以此类推。

洞口遮挡物 (obscured object type): 统计 1 m × 1 m 样方对石洞起明显遮挡作用的物体, 无记为 0, 倒木记为 1, 灌木丛记为 2。

1.3 数据处理

将主干、一级分支和二级分支的 3 组生境

因子经单样本 Kolmogorov-Smirnov 检验, 结果显示木本植物种类、落叶厚度、露石率、坡度和水深 5 个因子符合正态分布且方差同质, 采用单因素方差分析 One-Way ANOVA 检验 3 组生态因子间的差异显著性; 植被类型、土壤类型、基底类型和洞口遮挡物 4 个质量型数据采用卡方检验; 木本植物密度、植被郁闭度、水生动物种数、水生动物密度、人为干扰距离、海拔、石洞数目、流速、水宽、果树丰度、草本种类和草本密度采用非参数检验中的 Kruskal-Wallis 检验 3 组生境因子间的差异显著性。以上所有分析均使用 SPSS19.0 统计软件完成, 根据双尾显著性水平判断差异显著性, 数量型统计值用平均值 ± 标准误 (Mean ± SE) 表示, 质量型统计值用中位数 (四分位距) 表示。

2 结果

在虎伯寮保护区象溪至大岭段共调查了 3 个主干溪段 (4.90 km)、6 条一级分支 (6.25 km) 和 10 条二级分支 (3.90 km)。在主干选取布笼点 108 个, 2/3 的布笼点水深在 0.40 ~ 1.80 m 之间; 在一级分支选取布笼点 144 个, 2/3 的布笼点水深在 0.45 ~ 1.20 m 之间; 在二级分支选取布笼点 80 个, 2/3 的布笼点水深在 0.10 ~ 0.30 m 之间。共设置 1 660 个笼捕日, 在主干和二级分支均未捕获眼斑水龟, 在一级分支捕获眼斑水龟成体 2 只、幼体 3 只, 因此在溪流一级分支的相对密度为 0.006 9 只/笼捕日, 而在虎伯寮保护区的相对密度为 0.003 0 只/笼捕日。通过访问调查得知, 眼斑水龟因其具有 4 个眼斑, 与其他龟区别明显, 在当地居民中的辨识率达 95% 以上, 俗称“臭龟”或“尿龟”。当地居民主要在一级分支捕获到眼斑水龟, 在主干偶有捕捉经历。因此, 笼捕法和访问调查均表明, 眼斑水龟主要分布于溪流的一级分支。

通过对主干、一级分支和二级分支选取的 3 组样方生境因子作单因素方差分析、Kruskal-Wallis 非参数检验及卡方检验, 发现除

木本植物种类和木本植物密度组间差异不显著外,其余 19 个因子组间均差异显著甚至极显著(表 1)。进一步进行多重分析发现,一级分支和主干在植被郁闭度、落叶厚度、石洞数目、人为干扰距离、海拔、流速、水宽、露石率、果树丰度、草本种类、草本密度、土壤类型和洞口遮挡物等 13 个因子上差异显著或极显著;一级分支和二级分支在植被郁闭度、落叶厚度、露石率、石洞数目、人为干扰距离、海拔、水生动物种数、水生动物密度、坡度、流速、水宽、水深、果树丰度、草本种类、草本密度和基底类型等 16 个因子上差异显著或极显著。因此,相比主干和二级分支,一级分支的生境特征表现为:人为干扰距离相对较大、海拔中等、坡度较缓,溪流的水面宽度适中、水深较大、水流较缓、基底类型为石质、两岸的植被郁闭度较大、果树丰度较高、地面落叶厚度较大,并且溪流中石洞数目和露石率最高、水生动物种类和密度也较高。

3 讨论

3.1 影响眼斑水龟生境选择的因素

本研究中眼斑水龟主要分布于海拔 276 ~ 389 m 范围内溪流的一级分支,表明其偏好中等海拔或中游区域,这与同属的四眼斑水龟(*Sacalia quadriocellata*)分布特点非常相似。龚世平等(2006)在海南岛黎母山调查四眼斑水龟种群密度,只在海拔 170 ~ 470 m 范围内捕获到实体,而在海拔 150 ~ 170 m 和海拔 470 ~ 1 100 m 内未捕获到该物种;在琼中湾岭,四眼斑水龟在溪流中游的密度(21.50 只/km²)也明显高于上游(0.91 只/km²)和下游(3.50 只/km²) (林日顺 2002)。因此,这两个亲缘关系最近的物种具有非常相似的分布特点,溪流的中游或一级分支是最适合它们生存的区域。究其原因,主要有以下四个方面的影响因素。

3.1.1 环境隐蔽性较高 在本研究中,眼斑水龟主要分布的溪流一级分支具有隐蔽性较好的环境,如植被郁闭度较高、水较深、露石率较

高、石洞数目较大和洞口遮挡物较多等,这与四眼斑水龟的生境选择一致(龚世平等 2005)。隐蔽度较高的环境是龟类天然的庇护场所(Moore et al. 2014, 杨江波 2014),眼斑水龟生性胆小且没有攻击性,完全靠躲藏来增大生存几率,所以自然偏好能提高自身隐蔽性的环境。此外,眼斑水龟还偏好溪流基底类型为石质的生境,除石质生境能提供更多的躲避场所外,另一重要原因可能与四眼斑水龟一样,通过与自身体色相似的石质背景匹配以降低自身被捕食者发现的几率(肖繁荣 2014)。相比溪流的一级分支,二级分支缺乏较大的水潭和石洞,无法为眼斑水龟提供必要的隐蔽条件,而主干溪内虽然也有一些较深的水潭,但相邻水潭间多为沙质基底的浅水区,龟在水潭间转移时会增大其被发现的几率。Chen 等(2008)在台湾研究中华条颈龟(*Mauremys sinensis*)时发现,其偏爱流速较慢且水深为 1.5 ~ 2.0 m 的水潭,这也与眼斑水龟的生境选择类似。

3.1.2 食物丰富度较大 淡水龟的空间分布除了与可利用的隐蔽场所有关之外,还与食物资源的可获得性密切相关(Goodman 2000, Lindeman 2003)。从捕获的眼斑水龟粪便中发现了南酸枣果核、榕树科植物果实和荔枝螺(*Thais clavigera*)外壳,因此眼斑水龟应为杂食性,与四眼斑水龟相似。海南湾岭地区的四眼斑水龟取食大果榕(*F. auriculata*)、高山榕(*F. altissima*)、海南菜豆树(*Radermachera hainanensis*)等植物的花和果实以及昆虫、螺类、鱼、虾等水生动物(史海涛等 2011),并且在其分布区有大量该类植物分布(钟琼芯等 2006);而在本文的研究区域,因为溪流主干一侧为盘山公路,原始林多被竹林替代,溪流一级分支两侧的野生果树丰富度显著高于主干。同时,主干部分地段还有人为修筑的蓄水池,人为的改造工程往往会使龟类可获得性食物资源减少,造成种内食性生态位重叠,进而有可能降低种群数量(Chen et al. 2009)。此外,调查发现水生动物在深水潭里的种类和密度较高,

表 1 溪流主干、一级分支和二级分支间 21 个生态因子的差异
Table 1 Variation of 21 ecological factors between the main stream, primary and secondary tributary

生态因子 Ecological factors	溪流等级 Stream ranks	样方 Plots (n = 30)			P 值显著性 Significance of P					
		平均值 ± 标准误 Mean ± SE	中位数 (四分位距) Median (interquartile range)	组间差异 Difference among groups	多重比较 Multiple comparisons					
					I	II	III			
木本植物种类 No. of woody plant species	主干 Main stream (M)	9.63 ± 0.31						M vs. P 0.352		
	一级分支 Primary tributary (P)	10.03 ± 0.32		0.234				M vs. S 0.437		
	二级分支 Secondary tributary (S)	9.30 ± 0.28						P vs. S 0.090		
水深 Water depth (m)	主干 Main stream (M)	0.79 ± 0.10						M vs. P 0.289		
	一级分支 Primary tributary (P)	0.95 ± 0.13		0.000				M vs. S 0.000		
	二级分支 Secondary tributary (S)	0.19 ± 0.02						P vs. S 0.000		
露石率 Percentage of exposed stones (%)	主干 Main stream (M)	13.67 ± 1.86						M vs. P 0.000		
	一级分支 Primary tributary (P)	47.10 ± 2.27		0.000				M vs. S 0.064		
	二级分支 Secondary tributary (S)	9.17 ± 1.42						P vs. S 0.000		
落叶厚度 Thickness of deciduous leaves (cm)	主干 Main stream (M)	3.73 ± 0.15						M vs. P 0.000		
	一级分支 Primary tributary (P)	4.97 ± 0.16		0.000				M vs. S 0.000		
	二级分支 Secondary tributary (S)	5.57 ± 0.18						P vs. S 0.026		
坡度 Slope degree (°)	主干 Main stream (M)	17.00 ± 1.88						M vs. P 0.798		
	一级分支 Primary tributary (P)	18.50 ± 2.21		0.021				M vs. S 0.012		
	二级分支 Secondary tributary (S)	23.00 ± 1.88						P vs. S 0.023		
木本植物密度 Woody plant density (株/m ²)	主干 Main stream (M)	0.45 ± 0.02						M vs. P 0.198		
	一级分支 Primary tributary (P)	0.40 ± 0.02					0.183	M vs. S 0.863		
	二级分支 Secondary tributary (S)	0.47 ± 0.03						P vs. S 0.124		

续表 1

生态因子 Ecological factors	溪流等级 Stream ranks	样方 Plots ($n = 30$)			P 值显著性 Significance of P		
		平均值 \pm 标准误差 Mean \pm SE	中位数 (四分位距) Median (interquartile range)	组间差异 Difference among groups			多重比较 Multiple comparisons
				I	II	III	
石洞数目 No. of stone caves (个)	主干 Main stream (M)	16.37 \pm 1.92					M vs. P 0.006
	一级分支 Primary tributary (P)	26.33 \pm 1.50		0.000			M vs. S 0.000
	二级分支 Secondary tributary (S)	2.10 \pm 0.38					P vs. S 0.000
人为干扰距离 Distance to human disturbance (m)	主干 Main stream (M)	21.93 \pm 3.75					M vs. P 0.000
	一级分支 Primary tributary (P)	250.17 \pm 27.03		0.000			M vs. S 0.000
	二级分支 Secondary tributary (S)	923.00 \pm 39.45					P vs. S 0.000
海拔 Elevation (m)	主干 Main stream (M)	237.17 \pm 8.77					M vs. P 0.002
	一级分支 Primary tributary (P)	277.13 \pm 5.35		0.000			M vs. S 0.000
	二级分支 Secondary tributary (S)	387.07 \pm 10.71					P vs. S 0.000
水生动物种数 No. of benthos species	主干 Main stream (M)	4.30 \pm 0.35					M vs. P 0.452
	一级分支 Primary tributary (P)	3.97 \pm 0.26		0.000			M vs. S 0.000
	二级分支 Secondary tributary (S)	1.17 \pm 0.19					P vs. S 0.000
水生动物密度 Benthos density (个/m ²)	主干 Main stream (M)	3.95 \pm 0.51					M vs. P 0.119
	一级分支 Primary tributary (P)	5.03 \pm 0.35		0.000			M vs. S 0.000
	二级分支 Secondary tributary (S)	1.28 \pm 0.30					P vs. S 0.000
流速 Flow water speed (m/s)	主干 Main stream (M)	0.63 \pm 0.04					M vs. P 0.000
	一级分支 Primary tributary (P)	0.29 \pm 0.02		0.000			M vs. S 0.000
	二级分支 Secondary tributary (S)	0.40 \pm 0.02					P vs. S 0.018

续表 1

生态因子 Ecological factors	溪流等级 Stream ranks	样方 Plots (<i>n</i> = 30)			P 值显著性 Significance of P		
		平均值 ± 标准误差 Mean ± SE	中位数 (四分位距) Median (interquartile range)	组间差异 Difference among groups			多重比较 Multiple comparisons
				I	II	III	
水宽 Stream width (m)	主干 Main stream (M)	7.42 ± 0.36					M vs. P 0.000
	一级分支 Primary tributary (P)	3.86 ± 0.17		0.000			M vs. S 0.000
	二级分支 Secondary tributary (S)	1.14 ± 0.07					P vs. S 0.006
植被郁闭度 Canopy density (%)	主干 Main stream (M)	27.00 ± 2.37					M vs. P 0.000
	一级分支 Primary tributary (P)	50.10 ± 3.56		0.000			M vs. S 0.000
	二级分支 Secondary tributary (S)	67.33 ± 2.66					P vs. S 0.004
果树丰度 Fruiter abundance	主干 Main stream (M)	0.77 ± 0.20					M vs. P 0.006
	一级分支 Primary tributary (P)	1.40 ± 0.20		0.004			M vs. S 0.774
	二级分支 Secondary tributary (S)	0.60 ± 0.13					P vs. S 0.003
草本种类 No. of herbage species	主干 Main stream (M)	0.10 ± 0.06					M vs. P 0.000
	一级分支 Primary tributary (P)	0.97 ± 0.28		0.000			M vs. S 0.367
	二级分支 Secondary tributary (S)	0.00 ± 0.00					P vs. S 0.000
草本密度 Herbage density (株/m ²)	主干 Main stream (M)	2.37 ± 2.16					M vs. P 0.001
	一级分支 Primary tributary (P)	6.50 ± 2.81		0.000			M vs. S 0.322
	二级分支 Secondary tributary (S)	0.00 ± 0.00					P vs. S 0.000
植被类型 Vegetation type	主干 Main stream (M)		I(2.25)				M vs. P 0.750
	一级分支 Primary tributary (P)		I(1.25)	0.012			M vs. S 0.009
	二级分支 Secondary tributary (S)		I(0)				P vs. S 0.120

续表 1

生态因子 Ecological factors	溪流等级 Stream ranks	样方 Plots ($n = 30$)		P 值显著性 Significance of P		
		平均值 \pm 标准误 Mean \pm SE	中位数 (四分位距) Median (interquartile range)	组间差异 Difference among groups		
				I	II	III
土壤类型 Soil type	主干 Main stream (M)		1(1)			
	一级分支 Primary tributary (P)		2(0)		0.000	M vs. P 0.000
	二级分支 Secondary tributary (S)		2(0)			M vs. S 0.000 P vs. S 0.150
基底类型 Substrate type	主干 Main stream (M)		2(1)			
	一级分支 Primary tributary (P)		2(0)		0.000	M vs. P 0.060 M vs. S 0.033
	二级分支 Secondary tributary (S)		2.5(1)			P vs. S 0.018
洞口遮挡物 Obscured object type	主干 Main stream (M)		0(0)			
	一级分支 Primary tributary (P)		1(2)		0.000	M vs. P 0.000 M vs. S 0.006
	二级分支 Secondary tributary (S)		0(1)			P vs. S 0.576

“ I ” 代表单因素方差分析, 并进行 LSD 最小显著性差异法多重比较, “ II ” 代表独立样本 Kruskal-Wallis 检验, 并进行两两之间多重比较, “ III ” 代表卡方检验。

“ I ” indicates One-Way ANOVA with the least-significant difference test by SPSS 19.0; “ II ” indicates the Kruskal-Wallis test with the paired-comparisons; “ III ” indicates the Chi-square test.

水潭较急流和浅水区在食物和隐蔽场所数量上有较大优势 (Reese et al. 1998), 一级分支密集分布的水潭可以为龟类提供丰富的食物资源和优质的庇护条件 (Sung et al. 2015)。

3.1.3 适宜产卵的环境因素 不同的土壤类型和落叶厚度可以直接影响土壤温湿度, 进而对龟卵的孵化成功率造成影响 (王培潮 2000)。本文同期研究发现眼斑水龟选择壤土产卵, 产卵时躲到灌草丛中或树叶层下, 且产完卵后主要用落叶覆盖巢穴 (未发表), 因此土壤类型、落叶厚度和隐蔽度对眼斑水龟的繁殖有重要影响。Rasmussen (2009) 在研究北美星点龟 (*Clemmys guttata*) 时发现, 雌龟在产卵期和产卵后期较雄龟更加偏好在有较多遮蔽物的区域活动; 李闯 (2013) 发现红耳龟 (*Trachemys scripta elegans*) 繁殖期巢址利用样方植被多以低矮灌木为主且土壤硬度适中。相比于溪流主干沿岸密集的竹林区, 一级分支沿岸大量乔灌木的分布不仅为眼斑水龟的繁殖提供了开阔的产卵地和较高的隐蔽性, 而且厚厚的落叶层也满足了眼斑水龟盖巢的需求。繁殖期雌性眼斑水龟上岸产卵, 发现最接近岸边的巢穴距离岸边仅为 1.5 m (未发表), 溪流主干因水势变化较大, 退水后岸边沙地宽度可以达到 3 m 以上, 龟需要爬行更远的距离产卵, 必然会增大被发现的几率。

3.1.4 较低的人为干扰和有利的地形因素 动物在生境选择的过程中, 首先选择能增大自身适合度的因素, 其次要避开不利的因素, 是一种综合选择的结果 (Block et al. 1993)。Chen 等 (2008) 发现中华条颈龟在生境选择时会避开人为改造的河段, 而保护区内溪流主干与盘山公路平行分布, 两侧分布有村庄和农田, 人为干扰较大。溪流主干的水面宽度和流速较一级分支均明显要大, 且每逢雨季溪流主干的水位和流速均增大许多, 而眼斑水龟体型较小, 在湍急水流中容易被冲到下游。Sung 等 (2015) 在香港的研究发现, 大头扁龟 (*Platysternon megacephalum*) 偏好在流速较缓的深水潭里停

留, 以避免在暴雨时期被冲到下游; 而 Gordos 等 (2004) 认为, 有的龟之所以偏好流速较缓的水域, 是为了避免在急流中过多的能量支出。二级分支的坡度最陡, 水深最小, 其间很少有深度超过 1 m 的水潭, 且每年不时有断流的情况发生。因此, 人为干扰、地形和水流等因素也可能是眼斑水龟回避主干和二级分支而选择一级分支的原因。

3.2 眼斑水龟致危因素及保护建议

眼斑水龟偏好在当地溪流的一级分支栖息, 是长期自然选择和人为活动造成的结果。研究发现, 栖息地的人为改变或破坏是造成动物尤其是两栖爬行动物种群衰落的最主要原因之一 (Donner-Wright et al. 1999, Gibbons et al. 2000, Tear et al. 2005)。在研究地发现, 当地村民有将原始林改种毛竹 (*Phyllostachys heterocycla*) 和香蕉 (*Musa nana*) 的现象, 且屡禁不止, 溪流主干沿岸开发情况较为严重, 部分一级分支与主干交叉地段也有开发, 且有不断沿一级分支向里延伸的趋势, 这无疑将对眼斑水龟的适宜生境造成较大破坏, 不仅减少了它们的食物来源, 而且也压缩了雌龟适宜的产卵场所, 同时由于溪流两岸植被的郁闭度下降而增大眼斑水龟暴露的几率, 因此对种群的延续将构成一定的威胁。

人为捕猎和贸易也是龟类种群数量锐减的主要因素之一 (Shi et al. 2004, Zhou et al. 2008, 王海京 2010)。史海涛等 (1997) 测得新疆霍城自然保护区内四爪陆龟 (*Agrionemys horsfieldii*) 种群密度为 6.04 只/km², 比 20 世纪 80 年代初下降了 90.2%, 人为捕捉和干扰是造成密度下降的主要原因。对虎伯寮保护区内居民访问得知, 眼斑水龟在 10 年前种群密度远高于现在, 并且目前仍有一些居民通过捕龟来补贴生计, 本文研究期间, 研究人员和保护区工作人员共收缴溪中违法放置的龟笼 30 多个。2014 ~ 2015 年间通过走访福建龙岩、漳州、宁德等地市场, 发现眼斑水龟在短短一年内价格由最初的 750 元/斤飞涨到 2 100 元/斤, 最高时

期达到 3 500 元/斤, 价格暴涨的背后虽然不乏炒作因素 (Zhou et al. 2008), 但也从侧面反映出眼斑水龟数量的稀少; 同时在暴利的诱惑下野外捕捉力度又会加大, 使眼斑水龟野生种群面临极大的生存压力。

因此, 栖息地破坏和非法捕猎是威胁眼斑水龟野外种群生存的主要因素, 建议保护区加强一级分支溪段的巡逻力度, 严格保护森林尤其是溪流一级分支两侧的天然植被, 使眼斑水龟的野生种群能长久繁衍下去。

致谢 感谢福建虎伯寮国家级自然保护区管理局对本研究的大力支持; 海南师范大学王力军老师对论文提出宝贵建议, 本科生宋旭和许星亮对野外工作也给予帮助, 一并感谢!

参 考 文 献

- Block W B, Brennan L A. 1993. The habitat concept in ornithology: theory and application // Power D M. Current Ornithology. New York: Plenum Press, 35-91.
- Buhlmann K, Rhodin A, van Dijk P P. 2000. *Sacalia bealei* // Asian Turtle Trade Working Group. The IUCN Red List of Threatened Species 2000. [DB/OL]. [2016-5-6]. <http://www.iucnredlist.org/>
- Carriere M A, Blouin-Demers G. 2010. Habitat selection at multiple spatial scales in Northern Map Turtles (*Graptemys geographica*). Canadian Journal of Zoology, 88(9): 846-854.
- Chen T H, Lue K Y. 2008. Home ranges and movements of the Chinese stripe-necked turtle (*Ocadia sinensis*) in the Keelung River, northern Taiwan. Amphibia-Reptilia, 29(3): 383-392.
- Chen T H, Lue K Y. 2009. Changes in the population structure and diet of the Chinese Stripe-Necked Turtle (*Mauremys sinensis*) inhabiting a disturbed River in Northern Taiwan. Zoological Studies, 48(1): 95-105.
- Cheung S M. 2007. Ecology, conservation and trade of freshwater turtles in Hong Kong and Southern China, with particular reference to the critically endangered *Cuora trifasciata*. Hong Kong: University of Hong Kong, Ph. D Dissertation.
- Donner-Wright D M, Bozek M A, Probst J R, et al. 1999. Responses of turtle assemblage to environmental gradients in the St. Croix River in Minnesota and Wisconsin, USA. Canadian Journal of Zoology, 77(6): 989-1000.
- Ficetola G F, Padoa-Schioppa E, Monti A, et al. 2004. The importance of aquatic and terrestrial habitat for the European pond turtle (*Emys orbicularis*): implications for conservation planning and management. Canadian Journal of Zoology, 82(11): 1704-1712.
- Gibbons J W, Scott D E, Ryan T J, et al. 2000. The global decline of reptiles, déjà vu amphibians. Bioscience, 50(8): 653-666.
- Gong S P, Chow A T, Fong J, et al. 2009. The chelonian trade in the largest pet market in China: scale, scope and impact on turtle conservation. Oryx, 43(2): 213-216.
- Goodman R H, Stewart G R. 2000. Aquatic homerange of female western pond turtles, *Clemmys marmorata*, at two sites in southern California. Chelonian Conservation and Biology, 3(4): 743-745.
- Gordos M A, Franklin C E, Limpus C J. 2004. Effect of water depth and water velocity upon the surfacing frequency of the bimodally respiring freshwater turtle, *Rheodytes leukops*. Journal of Experimental Biology, 207(17): 3099-3107.
- Grant E H C, Lowe W H, Fagan W F. 2007. Living in the branches: population dynamics and ecological processes in dendritic networks. Ecology Letters, 10(2): 165-175.
- Hutto R L. 1985. Seasonal changes in the habitat distribution of transient insectivorous birds in Southeastern Arizona: Competition mediated? American Ornithologists' Union, 102(1): 120-132.
- Kiffney P M, Greene C M, Hall J E, et al. 2006. Tributary streams create spatial discontinuities in habitat, biological productivity, and diversity in mainstem rivers. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 63(11): 2518-2530.
- Li W Y, Gong S P, Hua L S. 2014. Isolation and characterization of microsatellite markers from the Chinese endemic species, Beal's-eyed turtle (*Sacalia bealei*). Conservation Genetics Resources, 6(2): 437-438.
- Lindeman P V. 2003. Sexual difference in habitat use of Texas map turtles (Emydidae: *Graptemys versa*) and its relationship to size dimorphism and diet. Canadian Journal of Zoology, 81(7): 1185-1191.
- Liu X, McGarrity M E, Bai C, et al. 2013. Ecological knowledge reduces religious release of invasive species. Ecosphere, 4(2): 391-401.
- Moore D B, Ligon D B, Fillmore B M, et al. 2014. Spatial use and selection of habitat in a reintroduced population of Alligator Snapping Turtles (*Macrochelys temminckii*). The Southwestern

- Naturalist, 59(1): 30–37.
- Rasmussen M L. 2009. Habitat Selection, Foraging Ecology, and Maternal Investment in a Lake Huron Population of Spotted Turtles (*Clemmys guttata*): Implications for Conservation and Management. Sudbury: Laurentian University, M. Sc. Dissertation.
- Reese D A, Welsh H H. 1998. Habitat use by western pond turtles in the Trinity River, California. *Journal of Wildlife Management*, 62(3): 842–853.
- Shi H T, Fan Z Y, Yin F, et al. 2004. New data on the trade and captive breeding of turtles in Guangxi Province, South China. *Asiatic Herpetological Research*, 10: 126–128.
- Shi H T, Fong J J, Parham J F, et al. 2008. Mitochondrial variation of the “eyed” turtles (*Sacalia*) based on known-locality and trade specimens. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 49(3): 1025–1029.
- Shi H T, O’Connell D, Parham J, et al. 2005. An action plan for turtle conservation in China. Kolmarden, Sweden: Proceedings of the EAZA conference, 47–57.
- Sung Y H, Hau B C, Karraker N E. 2015. Spatial ecology of endangered Big-Headed Turtles (*Platysternon megacephalum*): Implications of its vulnerability to illegal trapping. *The Journal of Wildlife Management*, 79(4): 537–543.
- Tear T H, Kareiva P, Angermeier P L, et al. 2005. How much is enough? The recurrent problem of setting measurable objectives in conservation. *Bioscience*, 55(10): 835–849.
- van Dijk P P, Iverson J B, Shaffer H B, et al. 2011. Turtles of the world, 2011 update: Annotated checklist of taxonomy, synonymy, distribution, and conservation status // Rhodin A G J. *Chelonian Research Monographs*. Massachusetts: Chelonian Research Foundation, 165–242.
- van Dijk P P, Iverson J B, Shaffer H B, et al. 2012. Turtles of the world, 2012 update: Annotated checklist of taxonomy, synonymy, distribution, and conservation status // Rhodin A G J. *Chelonian Research Monographs*. Massachusetts: Chelonian Research Foundation, 243–328.
- White P C L, Jennings N V, Renwick A R, et al. 2005. Questionnaires in ecology: a review of past use and recommendations for best practice. *Journal of Applied Ecology*, 42(3): 421–430.
- Zhou Z H, Jiang Z G. 2008. Characteristics and risk assessment of international trade in tortoises and freshwater turtles in China. *Chelonian Conservation and Biology*, 7(1): 28–36.
- 龚世平, 史海涛, 陈川, 等. 2006. 海南岛黎母山四眼斑水龟种群密度与空间分布格局. *动物学杂志*, 41(6): 54–59.
- 龚世平, 史海涛, 谢才坚, 等. 2005. 海南岛黎母山四眼斑水龟对春季生境的选择性. *动物学研究*, 26(2): 142–146.
- 李闯. 2013. 海南万泉河红耳龟 (*Trachemys scripta elegans*) 野外繁殖研究. 海口: 海南师范大学硕士学位论文.
- 林日顺. 2002. 四眼斑水龟栖息地选择及种群密度调查. 海口: 海南师范大学学士学位论文.
- 刘孝义. 1982. 土壤物理及土壤改良研究法. 上海: 上海科学技术出版社, 29–30.
- 尚玉昌. 2014. 动物行为研究的新进展 (十): 栖息地选择. *自然杂志*, 36(3): 182–185.
- 史海涛, 许设科. 1997. 四爪陆龟的栖息地选择及食性分析 // 赵尔宓, 周久发, 周婷. *中国龟鳖研究: 蛇蛙研究丛书*. 成都: 《四川动物》杂志编辑部, 127–132.
- 史海涛, 赵尔宓, 王力军, 等. 2011. 海南两栖爬行动物志. 北京: 科学出版社, 138–141.
- 汪继超. 2007. 黄额闭壳龟 (*Cuora galbinifrons*) 的活动家域和微生境利用. 海口: 海南师范大学硕士学位论文.
- 王海京. 2010. 广东平胸龟野生种群现状、受胁因素及保护对策研究. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文.
- 王培潮. 2000. 中国的龟鳖. 上海: 华东师范大学出版社, 58–60.
- 魏辅文, 冯祚建, 王祖望. 1998. 野生动物对生境选择的研究概况. *动物学杂志*, 33(4): 48–52.
- 肖繁荣. 2014. 四眼斑水龟体色和体形的生态适应研究. 海口: 海南师范大学硕士学位论文.
- 颜忠诚, 陈永林. 1998. 动物的生境选择. *生态学杂志*, 17(2): 43–49.
- 杨春花. 2007. 放归大熊猫 *Ailuropoda melanoleuca* 预选栖息地评估——以卧龙为例. 上海: 华东师范大学博士学位论文.
- 杨江波. 2014. 红耳龟 (*Trachemys scripta elegans*) 在海南南渡江半咸水区域的生态适应性研究. 海口: 海南师范大学硕士学位论文.
- 张晓爱, 李明财, 易现峰, 等. 2003. 动物对环境异质性的响应. *生态学杂志*, 22(6): 102–108.
- 钟琼芯, 李榕涛, 汪继超. 2006. 海南琼中县湾岭地区四眼斑水龟栖息地野生维管植物资源. *海南师范学院学报: 自然科学版*, 19(2): 159–162.