

中华鲎(*Tachypleus tridentatus*)稚鲎对不同比例泥沙类型选择行为特征*

应紫薇^{1, 2, 3} 李银康^{1, 2, 3} 颀晓勇^{1, 3}

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室 广东广州 510300; 2. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306; 3. 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州) 广东广州 511458)

摘要 中华鲎(*Tachypleus tridentatus*)是保障我国医疗检测安全的重要战略生物资源, 国内外中华鲎行为生态学相关研究极少。在实验室内模拟砾石底(NS)、细砂(SS)、中砂(MS)、粗砂(CS)、泥(AR)、泥沙 1(AA)、泥沙 2(AB)和沙泥(SA) 8 种不同比例的泥沙类型对中华鲎行为特征的影响。结果表明, 稚鲎较多时间潜藏于泥沙中, 较少时间裸露于泥沙表面活动(如爬行、游泳等)。稚鲎偏好在含淤泥较多的泥沙类型中潜沙, 且在泥质和泥沙质类型中埋栖时间较在沙质中埋栖时间长; 在裸露于泥沙表面时, 稚鲎相对偏好栖息于沙质底。泥沙环境下稚鲎用于游泳的时间比例高于砾石底。在凌晨、上午、中午、下午、夜晚 5 个时间段中, 稚鲎在夜晚和凌晨活动较活跃。通过揭示不同比例的泥沙类型底质对中华鲎稚鲎行为特征的影响, 为野外增殖放流计划的设计与实施、放流适宜地点的选择以及稚鲎人工养殖环境的优化提供科学理论依据。

关键词 中华鲎; 底质; 栖息选择; 埋栖选择; 行为特征

中图分类号 Q958; S931; S968.9 **doi:** 10.11693/hyhz20220100008

中华鲎(*Tachypleus tridentatus*)是世界现仅存四种鲎之一, 隶属于节肢动物门(Arthropoda)、有螯亚门(Chelicerata)、肢口纲(Merostomata)、剑尾目(Xiphosura)、鲎科(Limulidae), 是潮间带底栖动物, 现如今在我国主要分布于广东、广西和海南(洪水根, 2011; Luo *et al.*, 2020; Miao *et al.*, 2020; 蔡立哲等, 2021)。鲎血可用于制备鲎试剂, 鲎试剂广泛应用于临床诊断和药品检测等领域(颀晓勇等, 2021)。人为干扰(过度捕捞、海岸带围垦、沿海基建开发利用等)和环境污染等问题造成中华鲎资源在近 40 年中呈严重衰减趋势(Carmichael *et al.*, 2015; Smith *et al.*, 2017; John *et al.*, 2018; Fu *et al.*, 2019; Liao *et al.*, 2019; 鲍虞园等, 2021), 致使鲎血资源危机隐现, 我国医疗卫生检测安全受到威胁。如今新冠疫情导致对鲎试剂需求

增加, 宜及时平衡鲎资源保护和利用之间关系, 采取合理措施促进中华鲎资源量稳定恢复。

人工繁育和增殖放流是恢复中华鲎资源的有效措施(洪水根等, 2002; 朱俊华等, 2020; Xu *et al.*, 2021), 目前野外放流和人工养殖均处于探索阶段, 尚缺乏科学的野外放流规程和成熟的人工养殖体系。行为是动物对内外环境作出的宏观应答反应, 是动物最重要的生命特征, 动物行为随环境变化而变化(张东, 2013; 李为等, 2021)。截至目前, 中华鲎稚鲎行为特征尚未有相关研究报道。根据鲎的生活史特征, 其栖息地主要由满潮线(产卵场与孵育场)、潮间带(稚鲎栖息地)和亚潮带(海水深 10~30 m, 成鲎栖息地) 3 部分构成(洪水根, 2011; Xu *et al.*, 2021)。底栖动物行为与不同底质情况息息相关。底质环境适宜时,

* 2021 年省级促进经济高质量发展(海洋经济发展)海洋六大产业专项资金重点支持项目, GDNRC[2021]37 号; 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项, GML2019ZD0605 号; 海南省自然科学基金, 322MS154 号; 广东省科技计划项目, 2019B121201001 号。应紫薇, 硕士研究生, E-mail: yy19710227@163.com

通信作者: 颀晓勇, 硕士生导师, 副研究员, E-mail: xyxie@scsfri.ac.cn

收稿日期: 2022-01-11, 收修改稿日期: 2022-03-11

相应底栖动物种类丰富(李少文等, 2017), 但底栖动物若栖息在不适宜的底质上, 其生长和存活则会受抑制甚至死亡(孟珊等, 2020)。中华鲎稚鲎具潜沙习性, 对底质类型存在一定要求。本研究在实验室内设置 8 种不同底质比例的泥沙底质类型, 研究不同底质类型对中华鲎稚鲎行为特征的影响, 探讨中华鲎稚鲎对不同比例泥沙类型的选择和偏好, 以期为野外增殖放流计划的设计与实施、放流适宜地点的选择以及稚鲎人工养殖环境的优化提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于 2021 年 7 月在中国水产科学研究院南海水产研究所进行。实验所用中华鲎 2 龄稚鲎取自湛江中国水产科学研究院南海水产研究所中华鲎研究基地, 将其暂养于实验室水族缸(45 cm×55 cm×45 cm)适应 15 d 后, 挑选体形完整、活力强的 2 龄中华鲎 64 只, 头胸甲宽(1.072±0.064) cm, 体重(0.097±0.015) kg。实验所用泥沙均来自广东省湛江市中华鲎自然栖息地的泥沙质滩涂。

1.2 实验条件

暂养期间每天 18:00 投喂孵化好的丰年虾幼虫, 投喂量均为总体质量的 3%, 定时清除残饵和粪便。实验期间, 稚鲎培育在室内水族缸(2 个, 50 cm×30 cm×30 cm)进行, 水深 5 cm, 采用 3 个 2 cm 高的玻璃隔板将每个水族缸均分成 4 个面积相等的区域(图 1), 每个区域设置不同比例的泥沙类型, 共 8 种底质类型(表 1)。每天换水和排污 1 次, 日换水量 80%。养殖用水为经过滤消毒的自然海水, 水温(23±2) °C, 盐度 29±2, pH 7.6±0.2, 溶解氧≥4.0 mg/L。实验采用自然光照。

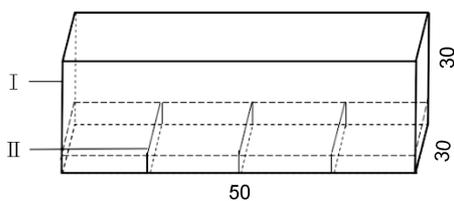


图 1 实验装置示意图(单位: cm)

Fig.1 Experimental device for behavior of *T. tridentatus*

注: : 装置为长方形水族缸, 规格为 50 cm×30 cm×30 cm, 中间设置 3 排 2 cm 高隔板; : 装置为长方形隔板, 边长为 30 cm, 恰好卡入装置

1.3 实验方法

每种泥沙类型投放 8 尾稚鲎, 适应 24 h 后开始实

验, 利用监控摄像系统(镭威视安防监控, 18 帧/s, 具夜间红外模式)监测水族缸中鲎行为动态, 实验持续 7 d。对录像文件进行分析并记录稚鲎对不同比例泥沙类型的选择和栖息状态: 头胸甲裸露于泥沙外水中记为“栖息”, 头胸甲部分或全部钻入底质记为“潜沙”, 在水中游动记为“游泳”。将稚鲎埋栖频率与栖息频率的比值定义为“相对埋栖率”, 用以表征栖息方式; 将某种泥沙类型上稚鲎的埋栖频率与所有泥沙类型(不包括砾石底)上埋栖频率总数的比值定义为“埋栖选择性”, 用以表征稚鲎埋栖时对各不同比例的泥沙类型的偏好性。每天 12:00 记录每种泥沙类型中 8 尾稚鲎的去留情况, 作为后一天各底质稚鲎数量初始数据。

表 1 泥沙类型设计

Tab.1 Types of substrates of sediment in different grain sizes and thickness

类型	代号	粒径/mm	铺设厚度/cm
砾石	NS	—	—
细砂	SS	0.3~0.6	5
中砂	MS	0.7~1.2	5
粗砂	CS	1.0~3.0	5
泥	AR	淤泥 100%	5
泥沙 1	AA	沙 33.33%, 淤泥 66.67%	5
泥沙 2	AB	沙 50%, 淤泥 50%	5
沙泥	SA	沙 66.67%, 淤泥 33.33%	5

实验时间划分为凌晨(0:00~5:30, 日出前)、上午(5:30~11:00)、中午(11:00~13:00)、下午(13:00~18:30)和夜晚(18:30~24:00)5 个时间段, 记录不同时间段稚鲎行为状态。

1.4 数据处理

运用 SPSS 22.0 数据分析软件, 对每天视频数据进行分析, 采用单因素方差(One-way ANOVA)分析底质类型对中华鲎稚鲎在各不同比例的泥沙类型中单次平均游泳时间、游动个体比例和不同行为时间分配的影响, $P<0.05$ 代表差异显著, $P<0.01$ 代表差异极显著。若差异显著, 再采用 Duncan's 多重比较分析组间差异。采用双因素方差(Two-way ANOVA)分析不同时间段和不同比例的泥沙类型对中华鲎稚鲎在各底质相对埋栖率、埋栖选择性和栖息选择性的影响。

2 结果

2.1 不同比例的泥沙类型中稚鲎行为特征

单因素方差分析显示, 不同比例的泥沙类型稚

蟹潜沙和游泳行为时间分配差异显著, $P < 0.05$ (表 2)。MS 中稚蟹用于潜沙的时间比例(19.80%)显著低于 AA (95.87%)、AB (98.39%)和 SA (98.45%) ($P < 0.05$)。SS 中稚蟹用于游泳的时间比例(0.02%)显著低于 AA (0.24%)、AR (0.18%)、MS (0.11%)、SA (0.11%)和 NS (0.08%) ($P < 0.05$)。稚蟹处于爬行和仰卧的时间在不同比例的泥沙类型上无显著差异($P > 0.05$)。结果显示, 稚蟹偏好含淤泥较多的底质中潜沙; 栖息在有泥沙环境下的稚蟹用于游泳的时间比例高于砾石底。

表 2 稚蟹在不同比例的泥沙类型上对不同行为的时间分配
Tab.2 Time distribution of juvenile horseshoe crabs for different actions on different substrates

行为	泥沙类型								P
	SS	MS	CS	AR	AA	AB	SA	NS	
爬行	1.96±0.63	2.67±0.94	0.11	6.82±3.66	3.45±1.00	2.22±0.48	2.09±1.14	2.26±0.80	0.07
潜沙/伏于砾石表面	95.59±3.13 ^{cd}	19.80±5.00 ^d	99.90 ^a	92.28±7.68 ^{cd}	95.87±1.40 ^c	98.39±1.30 ^c	98.45±1.39 ^{bc}	84.14±7.29 ^c	0.05
游泳	0.02±0.00 ^{dC}	0.11±0.00 ^{bcAB}	—	0.18±0.04 ^{abA}	0.24±0.01 ^{aA}	0.01±0.00 ^{dC}	0.11±0.00 ^{cB}	0.08±0.01 ^{cBC}	0.00
仰卧	0.24±0.15	0.50±0.44	—	0.210±0.07	0.03±0.01	0.17±0.01	0.23±0.02	0.23±0.12	0.40

注: 数值为平均值±标准差, 右上标不同小写字母代表差异显著($P < 0.05$), 不同大写字母代表差异极显著($P < 0.01$), 字母相同代表差异不显著($P > 0.05$)。单位: %

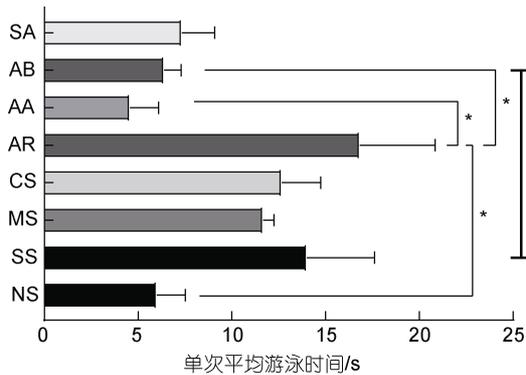


图 2 不同比例的泥沙类型条件下稚蟹单次平均游泳时间
Fig.2 Single average swimming time of juvenile horseshoe crabs under different substrates
注: *表示各不同比例的泥沙类型之间稚蟹单次平均游泳时间差异显著($P < 0.5$)

单因素方差分析显示, 不同比例的泥沙类型稚蟹游动个体比例差异显著($P < 0.05$)。8 种不同比例的泥沙类型上稚蟹游动个体比例按由大到小顺序排列依次为: CS>AA>AR>NS>MS = SA>SS>AB。Duncan's 多重比较分析显示, CS 与 MS、AB 和 SA 之间稚蟹游动个体比例差异均极显著($P < 0.001$) (图 3)。此外, NS 与 CS 和 AB 之间稚蟹游动个体比例差异均显著($P < 0.05$), SS 与 CS 和 AB 之间稚蟹游动个体比例差异均显著($P < 0.05$), AA 与 CS 和 AB 之间稚蟹游动个体

2.2 不同类型底质上稚蟹游泳时间和游动个体比例
单因素方差分析显示, 不同比例的泥沙类型稚蟹单次平均游泳时间差异显著, $P < 0.05$ 。稚蟹在 8 种底质上的单次平均游泳时间按由大到小顺序排列依次为: AR>SS>CS>MS>SA>AB>NS>AA。Duncan's 多重比较分析显示, SS 与 AB 之间稚蟹单次平均游泳时间差异显著($P < 0.05$), AR 与 NS、AA 和 AB 之间稚蟹单次平均游泳时间差异均显著($P < 0.05$), 其余各组之间稚蟹单次平均游泳时间差异均不显著($P > 0.05$) (图 2)。

比例差异均显著($P < 0.05$), AR 和 AB 之间稚蟹游动个体比例差异均显著($P < 0.05$), 其余各组之间稚蟹游动个体比例差异均不显著($P > 0.05$)。

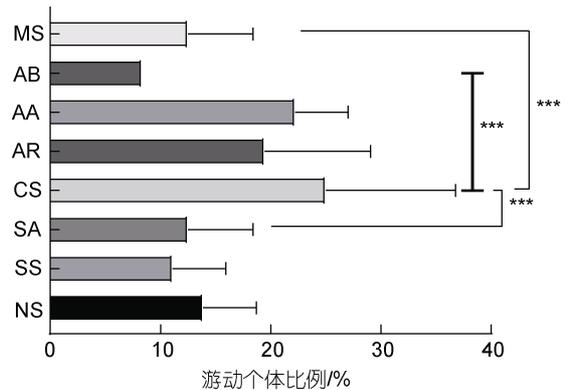


图 3 不同比例的泥沙类型条件下稚蟹游动个体比例
Fig.3 The proportion of swimming juvenile horseshoe crabs under different substrates
注: ***表示各不同比例的泥沙类型之间稚蟹游动个体比例差异极显著($P < 0.001$)

2.3 稚蟹对不同比例的泥沙类型的栖息选择性
2 龄稚蟹在凌晨、上午、中午、下午和夜晚 5 个时间段内选择栖息在不同比例的泥沙类型上的比例有所差异, 均值为 37.25%。5 个时间段选择栖息在 8 种不同比例的泥沙类型上的稚蟹数量按由大到小顺

序依次为: (1) 凌晨: SS>MS>AR>NS>SA>AA; (2) 上午: SS>NS>MS>CS; (3) 中午: AA>NS>SS=AR=SA; (4) 下午: SS>MS>AB; (5) 夜晚: SS>NS=AB>AA=CS>MS (表 3)。

表 3 稚鲎对不同比例的泥沙类型的栖息选择性
Tab.3 Habitat selectivity of juvenile horseshoe crabs on different substrates

时间	泥沙类型								F 值
	SS	MS	CS	AR	AA	AB	SA	NS	
凌晨	22.22±4.81	11.11±4.82	—	8.33±8.34	2.94±5.10	—	5.56±9.62	8.33±2.68	18.77***
上午	8.33±8.34	5.55±4.81	2.78±4.81	—	—	—	—	8.33±2.68	10.18***
中午	2.78±4.81	—	—	2.78±4.81	8.33±8.34	—	2.78±4.81	5.55±4.81	8.36***
下午	13.89±12.73	5.55±4.81	—	—	—	2.78±4.81	—	—	4.60***
夜晚	22.22±4.81	2.78±4.81	5.55±4.81	—	5.55±4.81	11.11±4.82	—	11.11±4.82	20.48***
均值	13.89	5.00	1.67	2.22	3.37	2.78	1.67	6.67	—

注: ***表示 $F > F_{5,40,0.01}$ 差异极显著 ($P < 0.001$)。单位: %

2.4 稚鲎在不同比例的泥沙类型上的栖息方式

2.4.1 稚鲎在不同比例的泥沙类型上的相对埋栖率

2 龄稚鲎在 8 种不同比例的泥沙类型上的相对埋栖率按由大到小顺序依次为: SA (95.47%)、AB (86.80%)、AA (83.33%)、AR (82.00%)、SS (58.33%)、MS (45.33%)、CS (42.67%)。5 个不同时间段相对埋栖率按由大到小顺序依次为: 中午 (75.81%)、凌晨 (71.10%)、下午 (70.14%)、上午 (69.95%)、夜晚 (65.76%) (图 4)。在 5 个不同时间段中, 上午和夜晚之间稚鲎在 8 种不同比例的泥沙类型上的相对埋栖率差异显著 ($P < 0.05$), 其余各时间段之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.4.2 稚鲎在不同比例的泥沙类型上的埋栖选择性

稚鲎凌晨在不同比例的泥沙类型中埋栖选择性由高到低依次为: SS (25.33%)、AR (25.26%)、MS (17.33%)、SA (16.33%)、AA (15.75%); 上午稚鲎埋栖选择性依次为: AA (27.02%)、SS (20.67%)、AR (19.26%)、MS (14.00%)、CS (12.67%)、AB (6.38%); 中午稚鲎埋栖选择性依次为: AR (31.88%)、SS (24.25%)、AA、AB 和 SA (15.89%)、MS (0.12%); 下午稚鲎埋栖选择性依次为: AA (33.11%)、SS 和 MS (25.19%)、AB (16.51%); 夜晚稚鲎埋栖选择性依次为: SS (37.36%)、AR (32.56%)、AA (26.32%)、AB (2.56%)、SA (1.20%) (图 5)。稚鲎在上午和下午两时间段内稚鲎埋栖选择性差异显著 ($P < 0.05$), 在上午和夜晚两时间段内稚鲎埋栖选择性差异极显著 ($P < 0.01$)。其余时间段之间稚鲎埋栖选择性差异不显著 ($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 不同比例泥沙类型对稚鲎埋栖行为的影响

水生动物通过调节形态、生理和行为等策略适应

复杂多变的生态环境 (Thomson *et al.*, 2012; 杨亚等, 2021)。行为生态学是行为学与生态学的交叉学科, 是生态学领域重要的研究范畴, 在栖息地保护与修复、渔业资源保护与增殖、水生动物养殖与开发利用等方面意义重大 (刘子俊等, 2019; 李娇等, 2020)。有学者推测放流的稚鲎可能被捕食者捕食, 也可能迁移到放流点以外的其他区域 (Tanacredi *et al.*, 2009)。本研究从不同行为时间分配来看, 稚鲎较多时间潜藏于底质中, 较少时间裸露于底质表面活动 (如爬行、游泳等)。底质可蓄积和释放水体营养盐, 有机物含量丰富, 可为稚鲎提供食物来源 (Entekin *et al.*, 2007; 孟珊等, 2020)。北部湾海域中华鲎成鲎食源以双壳类为主 (郭清扬等, 2021), 稚鲎平均营养生态位宽度与成鲎相比较, 稚鲎 (1~6 龄) 在野外的食物来源主要依赖沉积物有机质 (Kwan *et al.*, 2021), 稚鲎也捕食小型底栖动物 (Zhou *et al.*, 2004)。从行为生态学角度分析, 稚鲎潜藏于底质中有利于躲避天敌的捕食, 底质可为底栖动物应对突变的环境提供避难场所 (Brown, 2003; 孟珊等, 2020)。资料显示部分扁体软骨鱼类 (Chiu *et al.*, 2004)、北太平洋赤蠵龟 (*Caretta Caretta*) (Seney *et al.*, 2007)、澳洲小嘴鸪 (*Charadrius semipalmatus*) (Tsipoura *et al.*, 1999)、半蹼矶鹬 (*Calidris pusilla*) (Tsipoura *et al.*, 1999) 等为稚鲎和鲎卵的常见捕食者。此外, 光照或许是导致稚鲎潜沙时间较长的另一原因, 稚鲎可能因为躲避强光照射埋栖入底质中, 此推测有待后续进行深入研究。

相对埋栖率结果显示, 在不同比例的泥沙类型中, 稚鲎在含淤泥底质中埋栖时间较在沙质底质中埋栖时间长。稚鲎长时间埋栖时在泥中受外界因素影响较在沙中小, 所处环境更稳定, 使得稚鲎偏好在泥

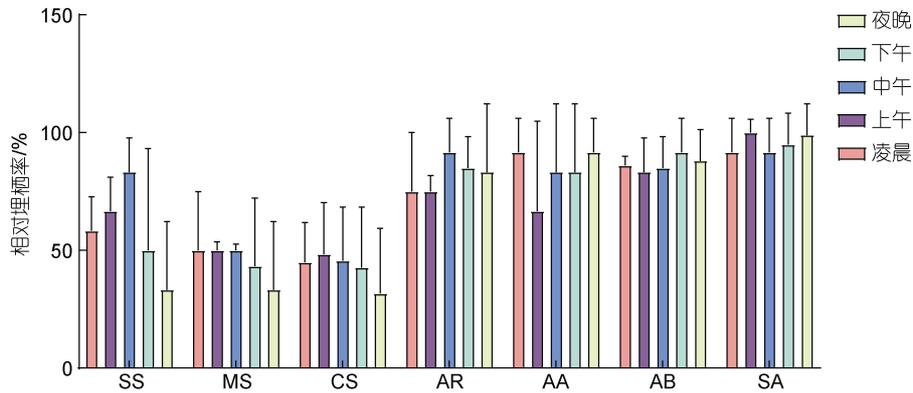


图4 稚鲎不同时间段在不同比例的泥沙类型上的相对埋栖率

Fig.4 Relative habitat rate of juvenile horseshoe crabs on different substrates in different diurnal periods

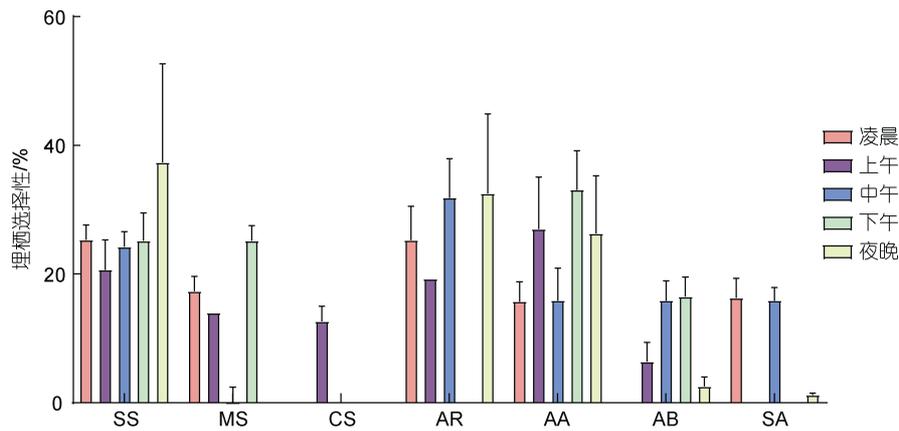


图5 稚鲎对不同比例的泥沙类型的埋栖选择性

Fig.5 Habitat selectivity of juvenile horseshoe crabs hiding into different substrates in different diurnal periods

中长时间埋栖。埋栖选择性结果显示, 稚鲎喜爱在淤泥占较大比例的泥沙类型(AR、AA)中埋栖, 对于沙质类型, 稚鲎偏好在细砂中埋栖。泥粒度小, 结构相对稳定, 而沙由于粒度较大, 缓冲能力较弱, 易受外界环境因素变化的影响(刘冉等, 2017)。此外, 稚鲎头胸甲较软, 不似成鲎般坚硬, 沙粒较硬, 稚鲎潜沙时能力有限, 难以推开粒径较大的沙粒潜入底质中。而泥主要成分为淤泥, 质地柔软, 稚鲎较易钻入其中。因此野外稚鲎放流时应首选潮间带泥沙质类型, 而不是远离近岸的较深海域。资料显示目前放流苗种多为1龄稚鲎, 常见放流方式为将鲎苗打包搬上船只运至码头或较深海域后投入海水中, 朱俊华等(2020)提出最佳放流方式是在海水退潮期间将稚鲎放流至已知稚鲎生境滩涂, 显而易见此种稚鲎放流方法缺乏行为生态学理论支撑, 同时也为放流后稚鲎的监测提升难度。

3.2 不同比例泥沙类型对稚鲎栖息行为的影响

在裸露于底质表面时, 稚鲎偏好栖息于沙质类

型。该研究结果与美洲鲎相关研究结果类似, 美洲鲎避开泥质区域, 栖息在沙表面(Botton *et al*, 1988)。沙质底质较泥质底质拥有较多的孔隙, 通透性相对较好, 含氧量充足, 可为鲎生命活动提供充足氧气(Vasquez *et al*, 2015)。而泥相比于沙吸附能力更强, 对营养盐的释放量较小(吴俊锋等, 2011)。其次, 熊千龄(2006)研究发现底质粒度越小, 含营养物质越丰富, 可为细菌生长繁殖供给营养, 泥质类型中细菌数量较沙质高。此外, 稚鲎在沙上爬行时, 沙层可支撑其躯体活动, 且稚鲎螯肢可依靠抓握沙粒以维持自身平衡。泥质类型因其主要组成成分为淤泥, 质地松软, 无法为稚鲎在其上方活动提供有效支撑力。

资料显示新生稚鲎具有视觉, 可绕过障碍物(Chabot *et al*, 2004)。本研究单次平均游泳时间分析表明栖息在泥质类型上的稚鲎单次平均游泳时间较其他泥沙类型长。推测出现该结果的原因可能是由于泥中的稚鲎游泳时会连带一些淤泥混于底质上方水层, 造成水体浑浊, 鲎视野不清晰, 影响稚鲎呼吸和运动,

等水层中的淤泥沉降一段时间后稚鲿恢复视野才落回泥沙表面。游动个体比例结果显示栖息在粗砂上的稚鲿游动个体比例较大, 这可能是由于粗砂底质孔隙较大, 气体交换相对容易, 稳定性较差, 受外界环境影响大, 稚鲿多迁移向其他适宜泥沙类型栖息, 可视为一种适应性行为。

3.3 稚鲿昼夜活动节律

在 5 个不同时间段中, 夜晚和凌晨 2 个时间段稚鲿活动较活跃, 这与美洲鲿相关研究结果一致。Borst 等(2002)和 Chabot 等(2004)研究发现美洲鲿稚鲿在夜间具较高活动性, 在凌晨的某一时间段钻入沙中埋栖。日本囊对虾(*Marsupenaeus Japonicus*) (蒋湘等, 2016)、竹筴鱼(*Trachurus trachurus*) (Aguzzi *et al.*, 2020)、大鲵(*Meflobatrachus davidians*) (陈云祥等, 2006)、丁鲷(*Tinca tinca*) (Herrero *et al.*, 2005)等水生动物均与鲿具有类似活动节律。

发现稚鲿昼夜活动节律对于中华鲿人工养殖具有重要意义。稚鲿人工培育的适宜饵料应减少在白天时段投喂而调整为夜晚和凌晨 2 个时间段内投喂, 以维持养殖水质环境稳定并减少饵料浪费。另外, 针对野外放流稚鲿的跟踪监测也适宜选择尝试在夜晚进行, 因大部分稚鲿(84.50%)白昼潜入底泥中埋栖, 夜晚才钻出底质表面活动。

3.4 特殊行为

实验发现, 稚鲿在不同泥沙类型上的埋栖方式不同, 在沙质类型中稚鲿头胸甲全部埋入沙中而剑尾暴露于沙面, 而在泥质类型中稚鲿全部埋栖入泥中。上述行为特征除与泥沙硬度有关外, 爬行时躯体半埋在沙中是稚鲿在强烈阳光照射下降低体温的一种策略(Brown, 2003)。此外, 砾石底上稚鲿爬行时躯体与缸底约呈 45°角, 且躯体左右摇晃但未侧翻, 形似“不倒翁”, 推测可能的原因为稚鲿无底质抓握和支撑, 受水流因素影响较大, 后续可进一步开展水流因素对稚鲿行为的影响研究。

此外, 本研究发现稚鲿存在类似“拥抱”式的“急救”行为。当爬行中的稚鲿遇到仰卧不动的其他稚鲿时, 先用螯肢触碰对方, 若对方有反应则立即离开, 若对方不做出反应, 稚鲿则攀附于其上方并与其相向拥抱(口对口, 螯肢相互攀附)约 1~2 min 后离开, 在稚鲿离开后部分被“急救”的仰卧稚鲿翻身开始爬行, 行为较活跃。后续可对该种特殊行为开展深入研究。

4 结论

在凌晨、上午、中午、下午、夜晚 5 个时间段中, 稚鲿在夜晚和凌晨活动较活跃。稚鲿较多时间潜藏于泥沙中, 较少时间裸露于泥沙表面活动(如爬行、游泳等), 偏好在含淤泥较多的泥沙类型中潜沙, 且在泥质和泥沙质类型中埋栖时间较在沙质类型中埋栖时间长。在裸露于泥沙表面时, 稚鲿偏好栖息于沙质类型。同时, 栖息在有泥沙环境下的稚鲿用于游泳的时间比例高于砾石底。故在野外放流和人工养殖稚鲿时, 应优选泥沙质类型作为稚鲿的栖息地。

参 考 文 献

- 朱俊华, 吴宙, 冯炳斌, 等, 2020. 全球中华鲿资源保护现状及对策建议[J]. 生物多样性, 28(5): 621-629.
- 刘子俊, 许柳雄, 朱国平, 2019. 南极磷虾行为与生理生态学研究进展[J]. 应用生态学报, 30(12): 4344-4352.
- 刘冉, 吴雪, 王琛, 等, 2017. 3种仿刺参养殖池塘底质特性的研究[J]. 水产科学, 36(1): 29-35.
- 李少文, 任中华, 王田田, 2017. 黄河口海域夏季大型底栖动物的生态学特征[J]. 渔业科学进展, 38(6): 9-17.
- 李为, 荣宽, 覃丽蓉, 等, 2021. 水产动物行为及其在渔业中的应用研究进展[J]. 水生生物学报, 45(5): 1171-1180.
- 李娇, 公丕海, 常青, 等, 2020. 岩礁鱼类行为生态学进展[J]. 渔业科学进展, 41(6): 192-199.
- 杨亚, 凌鸿, 付世建, 等, 2021. 环境类型和代谢表型对中华倒刺鲃群体行为的影响[J]. 生态学报, 41(11): 4447-4459.
- 吴俊锋, 谢飞, 陈丽娜, 等, 2011. 太湖重污染湖区底泥沉积物特性[J]. 水资源保护, 27(4): 74-78.
- 张东, 2013. 水生动物行为研究及其在水产养殖中的应用简述[J]. 水产学报, 37(10): 1591-1600.
- 陈云祥, 王伟军, 白洪清, 等, 2006. 饲养条件下大鲵的活动节律初步研究[J]. 水产养殖, 27(6): 40-41.
- 孟珊, 房景辉, 蒋增杰, 等, 2020. 双齿围沙蚕对潮间带不同类型底质选择行为的研究[J]. 渔业科学进展, 41(4): 110-116.
- 洪水根, 2011. 中国鲿生物学研究[M]. 厦门: 厦门大学出版社: 76-77.
- 洪水根, 李祺福, 陈美华, 等, 2002. 中国鲿胚胎发育研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 41(2): 239-246.
- 郭清扬, 谷阳光, 鲍虞园, 等, 2021. 中华鲿的食物组成及营养位置分析[J]. 南方水产科学, 17(4): 35-40.
- 胡晓勇, 钟金香, 关杰耀, 等, 2021. 基于鲿试剂需求的中华鲿资源保护的迫切性研究[J]. 中国渔业经济, 39(2): 109-116.
- 蒋湘, 谢妙, 彭树锋, 等, 2016. 日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)底质适应性的研究[J]. 海洋与渔业, (11): 56-57.
- 鲍虞园, 叶国玲, 李银康, 等, 2021. 中国鲿消化道发育组织学观察[J]. 海洋渔业, 43(2): 184-193.
- 蔡立哲, 陈昕韡, 傅素晶, 等, 2021. 厦门鳄鱼屿潮间带中国鲿的种群动态与底栖环境[J]. 湿地科学与管理, 17(1): 14-18.
- 熊千龄, 2006. 利用PCR-DGGE研究军曹鱼肠道和水环境的细

- 菌群落[D]. 广州: 中山大学.
- AGUZZI J, LÓPEZ-ROMERO D, MARINI S, *et al*, 2020. Multiparametric monitoring of fish activity rhythms in an Atlantic coastal cabled observatory [J]. *Journal of Marine Systems*, 212: 103424.
- BORST D, BARLOW R, 2002. Circadian rhythms in locomotor activity of juvenile horseshoe crabs [J]. *The Biological Bulletin*, 203(2): 227-228.
- BOTTON M L, LOVELAND R E, JACOBSEN T R, 1988. Beach erosion and geochemical factors: influence on spawning success of horseshoe crabs (*Limulus polyphemus*) in Delaware Bay [J]. *Marine Biology*, 99(3): 325-332.
- BROWN B L, 2003. Spatial heterogeneity reduces temporal variability in stream insect communities [J]. *Ecology Letters*, 6(4): 316-325.
- CARMICHAEL R H, BOTTON M L, SHIN P K S, *et al*, 2015. Changing Global Perspectives on Horseshoe Crab Biology, Conservation and Management [M]. Cham, Switzerland: Springer.
- CHABOT C C, KENT J, WATSON III W H, 2004. Circatidal and circadian rhythms of locomotion in *Limulus polyphemus* [J]. *Biological Bulletin*, 207(1): 72-75.
- CHIU H M C, MORTON B, 2004. The behaviour of juvenile horseshoe crabs, *Tachypleus tridentatus* (Xiphosura), on a nursery beach at Shui Hau Wan, Hong Kong [J]. *Hydrobiologia*, 523: 29-35.
- ENTREKIN S A, ROSI-MARSHALL E J, TANK J L, *et al*, 2007. Macroinvertebrate secondary production in 3 forested streams of the upper Midwest, USA [J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 26(3): 472-490.
- FU Y J, HUANG S Y, WU Z, *et al*, 2019. Socio-demographic drivers and public perceptions of consumption and conservation of Asian horseshoe crabs in northern Beibu Gulf, China [J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(8): 1268-1277.
- HERRERO M J, PASCUAL M, MADRID J A, *et al*, 2005. Demand-feeding rhythms and feeding-entrainment of locomotor activity rhythms in tench (*Tinca tinca*) [J]. *Physiology & Behavior*, 84(4): 595-605.
- JOHN B A, NELSON B R, SHEIKH H I, *et al*, 2018. A review on fisheries and conservation status of Asian horseshoe crabs [J]. *Biodiversity and Conservation*, 27(14): 3573-3598.
- KWAN K Y, BOPP J, HUANG S Y, *et al*, 2021. Ontogenetic resource use and trophic dynamics of endangered juvenile *Tachypleus tridentatus* among diversified nursery habitats in the northern Beibu Gulf, China [J]. *Integrative Zoology*, 16(6): 908-928.
- LIAO Y Y, HSIEH H L, XU S Q, *et al*, 2019. Wisdom of crowds reveals decline of Asian horseshoe crabs in Beibu Gulf, China [J]. *Oryx*, 53(2): 222-229.
- LUO Z, MIAO F Z, HU M H, *et al*, 2020. Research development on horseshoe crab: a 30-year bibliometric analysis [J]. *Frontiers in Marine Science*, 7: 41.
- MIAO F Z, ZHAO Z H, LI Q Z, *et al*, 2020. Impact of initial feeding and molting on *Tachypleus tridentatus* gut microbiota [J]. *Current Microbiology*, 77(10): 2847-2858.
- SENEY E E, MUSICK J A, 2007. Historical diet analysis of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in Virginia [J]. *Copeia*, 2007(2): 478-489.
- SMITH D R, BROCKMANN H J, BEEKEY M A, *et al*, 2017. Conservation status of the American horseshoe crab, (*Limulus polyphemus*): a regional assessment [J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 27(1): 135-175.
- TANACREDI J L, BOTTON M L, SMITH D R, 2009. Biology and Conservation of Horseshoe Crabs [M]. Boston, MA, USA: Springer.
- THOMSON J S, WATTS P C, POTTINGER T G, *et al*, 2012. Plasticity of boldness in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*: do hunger and predation influence risk-taking behaviour? [J]. *Hormones and Behavior*, 61(5): 750-757.
- TSIPOURA N, BURGER J, 1999. Shorebird diet during spring migration stopover on Delaware Bay [J]. *The Condor*, 101(3): 635-644.
- VASQUEZ M C, JOHNSON S L, BROCKMANN H J, *et al*, 2015. Nest site selection minimizes environmental stressor exposure in the American horseshoe crab, *Limulus polyphemus* (L.) [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 463: 105-114.
- XU P, BAI H W, XIE X Y, *et al*, 2021. Tri-spine horseshoe crab aquaculture, ranching and stock enhancement: perspectives and challenges [J]. *Frontiers in Marine Science*, 8: 608155.
- ZHOU H, MORTON B, 2004. The diets of juvenile horseshoe crabs, *Tachypleus tridentatus* and *Carcinoscorpius rotundicauda* (Xiphosura), from nursery beaches proposed for conservation in Hong Kong [J]. *Journal of Natural History*, 38(15): 1915-1925.

BEHAVIOR PREFERENCE OF JUVENILE *TACHYPLEUS TRIDENTATUS* ON DIFFERENT SUBSTRATES

YING Zi-Wei^{1,2,3}, LI Yin-Kang^{1,2,3}, XIE Xiao-Yong^{1,3}

(1. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China; 2. College of Fisheries Science and Life Science of Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou), Guangzhou 511458, China)

Abstract Horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* is an important strategic biological resource for ensuring the security of Chinese medical detection. Eight substrates in different grain sizes of pebble, sand, silt, and mud or their mixture were used for the substrates in an aquarium tank in laboratory, on which the impact of different substrates on the behavioral preference of *T. tridentatus* was simulated. Observation showed that juvenile horseshoe crabs hid into substrates most of the time and went out of substrates temporarily for crawling, swimming, etc. Juvenile *T. tridentatus* preferred to muddy substrates for hiding, spent more time on swimming in the substrate-paved environment than in bare gravel bottom, and inclined to inhabit in sandy substrates. Among 5 diurnal periods of a day (before dawn, forenoon, noon, afternoon, and night), they were more active before dawn and at night. Therefore, the effects of different substrates on the behavioral characteristics of *T. tridentatus* are different. This study provided a scientific basis for the design and preparation for the culture or proliferation projects of the species, for the selection of suitable releasing sites, and for the optimal artificial breeding environment building for juvenile horseshoe crabs growth.

Key words *Tachypleus tridentatus*; substrates; habitat selection; burial selection; behavioral characteristics