

doi: 10.7541/2022.2021.0293

不同发育阶段中华绒螯蟹对底质的喜好性研究

李春波^{1,2} 黄晓荣² 冯广朋^{1,2} 庄平² 耿智² 伍烨菱^{1,2}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 200090; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所,
上海长江口渔业资源增殖和生态修复工程技术研究中心, 上海 200090)

摘要: 为探究不同发育阶段中华绒螯蟹对底质类型的喜好性, 采用单因子实验方法, 研究不同发育阶段中华绒螯蟹个体和群体对泥、泥沙(泥:沙=1:1)、中沙(0.35—0.50 mm)和细沙(0.25—0.35 mm)等4种底质的喜好性。亲蟹个体出现在各底质上的时间百分比和群体出现在各底质上的数量百分比结果均表明亲蟹对泥底质的喜好性显著高于其他三种底质($P<0.05$); 扣蟹个体和群体实验结果均表明扣蟹对泥和中沙底质的喜好性显著高于其他两种底质($P<0.05$); 仔蟹群体实验结果表明仔蟹最喜好泥底质, 其次是泥沙, 两者显著多于中沙和细沙($P<0.05$)。昼夜研究结果表明, 亲蟹个体和群体、扣蟹群体及仔蟹群体在白天和夜晚对底质的选择均具有显著性差异($P<0.05$), 但扣蟹个体在夜晚对底质的选择无显著性差异($P>0.05$)。对栖息方式的研究表明, 亲蟹无显著的埋栖行为, 扣蟹喜好埋栖在泥和中沙里面, 仔蟹喜好埋栖在泥里面, 其次是泥沙。研究揭示, 中华绒螯蟹对不同底质的喜好性具有显著差异, 且不同发育阶段中华绒螯蟹对底质的喜好及栖息方式也不尽相同, 为其生境修复和资源养护提供了参考。

关键词: 底质; 扣蟹; 亲蟹; 仔蟹; 行为; 中华绒螯蟹

中图分类号: S917.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2022)06-0888-08



中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)隶属于十足目(Decapoda)方蟹科(Grapsidae)绒螯蟹属, 俗称毛蟹、河蟹、大闸蟹等, 为我国重要经济蟹。中华绒螯蟹广泛分布于我国沿海及通海的水域中, 具有降海生殖洄游和溯河索饵洄游习性, 秋季性成熟成蟹洄游到近海河口及岛礁进行交配产卵, 翌年春季新孵蚤状幼体发育至大眼幼体后便溯河而上, 至鄱阳湖、洞庭湖等淡水水域中继续生长^[1]。河口、湖泊和岛礁水域是渔业生物繁衍、生长最为关键的栖息生境, 集中承载了产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道等重要生态功能, 对中华绒螯蟹的生长发育至关重要。

底质作为水生生物生存环境的组成部分, 是水生动物栖息地研究的重要对象, 对水生生物栖息地的构建和保护水生生物资源方面具有重要意义^[2]。

目前关于中华绒螯蟹生境适宜性的研究多集中在盐度、温度、溶氧、pH及光照方面, 对底质选择的研究较少, 但在其他甲壳类中有一定的研究: 不同规格蓝蟹(*Callinectes sapidus*)喜好沙、泥和泥沙底质^[3]; 克氏剑尾虾(*Xiphopenaeus kroyeri*)喜好细沙和极细沙^[4]; 中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)更偏好于泥含量为30%的沙泥底质^[5]; 拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*)大眼幼体喜好海泥底质, 幼蟹则喜好海泥和泥沙底质^[6]; 3种细螯寄居蟹(*Clibanarius antillensis*, *C. sclopetarius*, and *C. vittatus*)退潮时, 钻进高度复杂的岩石基质中的洞里, 或者埋在泥里^[7]。

不同底质会对水生动物的繁殖^[8]、生长^[9]、捕食^[10, 11]、个体行为及社会行为^[12]造成重要的影响。近年来随着长江干流及通江湖泊生态环境改

收稿日期: 2021-10-27; 修订日期: 2022-02-16

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD0901205); 国家自然科学基金面上项目(31972795); 上海市中华绒螯蟹现代农业产业技术体系项目(沪农科产字2017-4号); 农业农村部物种资源保护项目(125c0505)资助 [Supported by the National Key R & D Program Key Special Project (2019YFD0901205); National Natural Science Foundation of China General Project (31972795); Shanghai Chinese Mitten Crab Modern Agricultural Industrial Technology System Project (Hu Nong Ke Chan Zi 2017-4); Species Resources Protection Project of Ministry of Agriculture and Rural Affairs (125c0505)]

作者简介: 李春波(1998—), 男, 硕士研究生; 主要从事水生动物生理生态学研究。E-mail: 1753609244@qq.com

通信作者: 冯广朋, 男, 博士, 研究员; E-mail: coolwindfgp@163.com

变、水上建筑增加及人类活动的影响等,长江中下游重要的水生经济动物的资源与分布也发生了巨大的变化^[13—15],因此对不同发育阶段中华绒螯蟹开展底质喜好性研究,摸清其对适宜底质环境的生态需求,可为人工养殖和增殖中华绒螯蟹时适宜栖息地的构建提供参考资料,为中华绒螯蟹生境修复与资源养护提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

中华绒螯蟹亲蟹和扣蟹各300只,均取自江苏省高邮湖,仔蟹为室内养殖的Ⅲ期仔蟹[从大眼幼体开始养殖,投喂丰年虾(*Artemia salina*)]。预实验中发现雌蟹和雄蟹对底质的选择无显著性差异,在正式实验时,按雌雄比例1:1进行,具体规格指标如表1所示。亲蟹和扣蟹取回后先在室内养殖1周,使其适应室内环境,暂养期间每天晚上按照体重的2%—3%投喂1次鲜活缢蛭(*Sinonovacula constricta*)作为饵料,选择附肢完整、健康活力强的个体作为实验对象。铺设的底质为取自长江口水域的泥、泥沙(泥沙1:1混合)、细沙(粒径为0.25—0.35 mm)和中沙(粒径为0.35—0.50 mm),沙子先经淘洗去除杂物后晾干,然后用网筛筛选细沙和中沙,泥晾干后研碎至粉状用于实验。实验时,底质厚度为0.05 m,确保中华绒螯蟹可以埋进底质。

1.2 实验装置

亲蟹实验装置为环形水槽,整个实验槽长5 m,宽2 m,高0.50 m,其中,两端均为半圆形,半径1 m,中间为长方形,长3 m,宽0.50 m。实验时在长方形区域底部放置4个托盘,规格为1.50 m×0.50 m×0.05 m,托盘内分别装泥、泥沙、中沙和细沙。洄游槽上方装两个红外摄像头,确保整个洄游槽都在可视范围内,通过红外摄像机进行观察记录。为了避免干扰,整个测试区用幕布与周围隔离。扣蟹实验装置为直径1 m的圆柱形养殖缸(材质为玻璃钢),

用0.05 m高的挡板将底质平均分为4份,每一部分放一种底质。仔蟹实验装置为直径0.60 m的红色圆盆,操作同上。

1.3 实验方法

参考顾孝连等^[16]的实验方法进行设计:底质选择实验分为个体实验和群体实验两种,预实验中发现实验蟹放到装置中10min后,活动明显减弱,因此个体实验时,每次放入1只实验蟹,先适应10min,然后利用红外摄像机连续记录5min,观察记录实验蟹在各底质上面的停留时间;在群体实验时,每组放入8只亲蟹,每隔1h观察记录1次,记录实验蟹出现在不同底质中的次数。底质类型包括泥、泥沙、细沙和中沙。具体方法为:试验蟹从暂养缸中捞出后用干毛巾擦干壳表面水分,在壳上依次贴上白色反光膜以便观察。由于中华绒螯蟹具有昼伏夜出的生活习性,所以在白天和晚上各进行一组个体实验和群体实验。亲蟹个体实验时每次放1只实验蟹至装置中,每组共进行8只,3个平行,共进行4组。群体每组8只,每小时记录1次实验蟹分布情况,记录8次,共进行4组,每组重复3次。实验时水槽中的水温和暂养水箱的水温变化范围控制在±1℃范围内。在实验过程中4种底质的位置随机放置,每次实验时,都将实验蟹放在一号位置(图1),每组实验结束,下组实验开始之前,按顺时针方向调换4种底质的位置,以防止中华绒螯蟹因对水槽内的底质位置产生偏好,从而影响实验结果。

扣蟹实验方法与亲蟹相同。在前期的预实验中发现仔蟹白天喜好埋在底质中,因此在扣蟹对底质的选择研究中,除了记录其出现在每种底质上的次数和停留时间外,还记录了栖息状态是埋栖(头胸甲部分或全部都在底质中)还是栖息(头胸甲暴露于底质外)。此外预实验发现扣蟹运动能力较强,因此适应时间延长至20min,个体实验时每次放1只实验蟹至装置中,每组共进行4只,3个平行,共进行4组。扣蟹埋栖后不能用摄像机记录,需现场记录,群体实验中白天和夜晚均记录5次。

由于仔蟹个体太小,用摄像装置不易观察,肉眼观察误差较大,因此仔蟹只开展群体实验,不进行个体实验,每组30只仔蟹,早晚各记录1次。仔蟹的栖息状态观察和记录方法同扣蟹,白天和晚上各记录1次。

1.4 数据记录与分析

个体实验统计实验蟹在不同底质总停留时间的百分比,群体实验统计实验蟹在不同底质上出现的次数百分比。所有数据均采用平均值±标准差(mean±SD)表示,运用SPSS 23软件进行统计分

表1 亲蟹和扣蟹的规格(平均值±标准差)

Tab. 1 Specifications of parent crab and button sized crab (mean±SD)

发育阶段 Developmental stage	性别 Sex	壳长 Shell length (mm)	壳宽 Shell width (mm)	体质量 Body mass (g)
亲蟹 Parent crab	雌性 Female	55.13±2.26	58.25±2.06	97.03±11.09
	雄性 Male	57.78±1.89	61.90±1.79	125.03±10.38
扣蟹 Button sized crab	雌性 Female	22.93±1.79	28.73±1.62	9.13±0.46
	雄性 Male	23.93±1.16	32.80±1.52	10.95±0.44

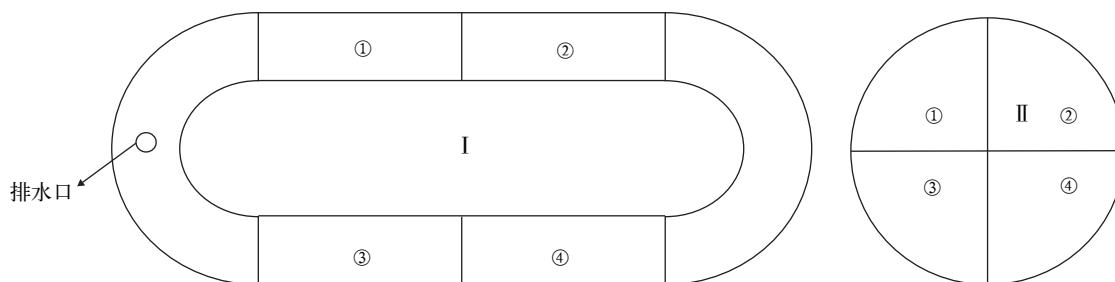


图1 不同发育阶段中华绒螯蟹实验装置示意图

Fig. 1 Experimental devices at different developmental stages of *E. sinensis*

I 代表亲蟹实验装置; II 代表扣蟹和仔蟹实验装置

I represents the parent crab experimental device; II represents the button sized crab and the juvenile crab experimental device

析, 先进行方差齐性检验和正态分布检验, 符合要求后通过单因素方差分析(One-way ANOVA)判断中华绒螯蟹对底质的喜好性是否存在显著性差异($P < 0.05$), 并用Duncan's多重比较法分析各底质间的差异, 通过独立样本 t 检验对两组数据进行显著性差异分析。

2 结果

2.1 中华绒螯蟹个体对底质的选择

中华绒螯蟹个体对底质喜好性结果表明亲蟹个体停留在泥、泥沙、中沙和细沙底质上的时间百分比依次为(58.19±6.34)%、(15.95±5.23)%、(12.05±2.38)%和(13.81±2.14)%亲蟹个体对泥底质的选择显著多于其他3种底质($P < 0.05$), 对其他3种底质的选择则无显著性差异($P > 0.05$)。

扣蟹个体停留在泥、泥沙、中沙和细沙底质上的时间百分比依次为(35.69±1.73)%、(18.08±3.25)%、(30.83±4.99)%和(15.40±1.91)%, 扣蟹个体对泥和中沙底质的选择显著大于泥沙和细沙($P < 0.05$), 但两者间无显著性差异, 对泥沙和细沙的选择也无显著性差异($P > 0.05$; 图2)。

2.2 中华绒螯蟹群体对底质的选择

中华绒螯蟹群体对底质喜好性结果表明亲蟹出现在泥、泥沙、中沙和细沙底质上的次数百分比依次为(33.69±2.17)%、(23.83±1.21)%、(20.15±0.34)%和(22.33±3.23)%亲蟹对泥底质的选择显著大于其他3种底质($P < 0.05$), 对其他3种底质的选择无显著性差异($P > 0.05$)。

扣蟹群体出现在泥、泥沙、中沙和细沙底质上的次数百分比依次为(32.51±2.50)%、(19.80±3.84)%、(30.76±2.01)%和(16.93±0.95)%, 扣蟹对泥和中沙底质的选择显著大于泥沙和细沙($P < 0.05$), 但两者间无显著性差异, 对泥沙和细沙的选择也无显著性差异($P > 0.05$)。

仔蟹群体出现在泥、泥沙、中沙和细沙底质

上的次数百分比依次为(60.42±2.89)%、(22.50±2.32)%、(8.75±2.50)%和(8.33±1.10)%, 仔蟹群体最喜好泥, 其次是泥沙, 显著大于中沙和细沙, 且两者间差异显著($P < 0.05$), 但对中沙和细沙的选择无显著性差异($P > 0.05$; 图3)。

2.3 中华绒螯蟹白天和夜晚对底质的选择

中华绒螯蟹白天和夜晚对底质的喜好性结果表明亲蟹个体和群体、扣蟹群体及仔蟹群体在白天和夜晚对底质的选择均具有显著性差异($P < 0.05$), 亲蟹个体和群体在白天和夜晚均喜好泥底质, 扣蟹群体白天和夜晚以及个体白天均喜好泥和中沙底质, 仔蟹白天和夜晚均喜好泥底质, 但扣蟹个体在夜晚对底质的选择无显著性差异($P > 0.05$)。白天和夜晚对同种底质的研究结果表明: 亲蟹群体白天出现在泥上的次数百分比高于夜晚, 夜晚出现在中

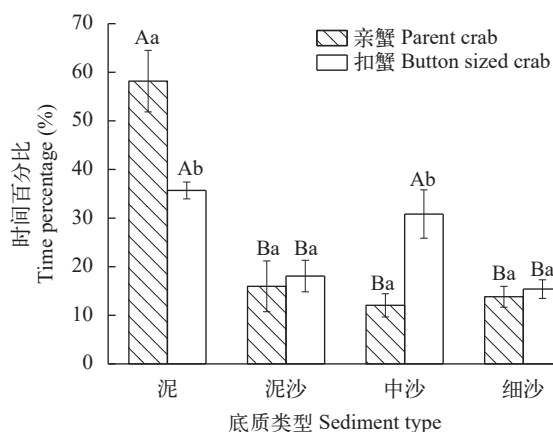


图2 中华绒螯蟹个体对底质的选择

Fig. 2 Selection of sediment by Individuals of *E. sinensis*

不同大写字母表示对四种底质的选择有显著性差异($P < 0.05$), 不同小写字母表示不同发育时期对同种底质的选择有显著性差异($P < 0.05$); 下同

Different capital letters indicate significant differences in the selection of four substrates ($P < 0.05$), and different small letters indicate significant differences in the selection of the same substrate at different developmental stages ($P < 0.05$). The same applied below

沙上的次数百分比显著高于白天($P < 0.05$), 扣蟹个体白天在泥底质上的时间百分比高于夜晚, 且差异显著($P < 0.05$), 亲蟹个体、扣蟹群体及仔蟹群体在白天和夜晚对同种底质的选择均无显著性差异($P > 0.05$; 图 4)。

2.4 中华绒螯蟹的栖息方式

中华绒螯蟹栖息方式研究结果表明亲蟹以栖息为主, 无显著的埋栖现象; 扣蟹在晚上也以栖息为主, 但白天存在显著的埋栖行为, 白天埋栖在泥中的次数百分比显著大于中沙, 但两者均显著大于泥沙和细沙($P < 0.05$); 仔蟹在白天和夜晚均存在埋栖行为, 埋栖在泥中的次数百分比显著大于泥沙, 但两者均显著大于中沙和细沙($P < 0.05$; 图 5—6)。

3 讨论

3.1 不同发育阶段中华绒螯蟹对泥底质的喜好性

本研究发现不同发育阶段中华绒螯蟹均喜好泥底质, 一方面可能与其栖居方式有关: 在有潮水涨落的河川或各类水域的岸滩地带, 中华绒螯蟹往往营穴居生活, 而在饵料丰富、水位稳定、水质良好、水面开阔的湖泊和草荡中, 它一般不挖穴, 而是隐伏在水草和底泥中过隐居生活^[17], 与沙底质相比, 泥和泥沙底质不易随海水流动, 动力学特性更为稳定^[18, 19], 有利于洞穴的建造, 因此中华绒螯蟹更喜好泥底质。另一方面可能与其摄食和反捕食的习性有关: Rudnick等^[20]研究表明, 中华绒螯蟹不同发育阶段的食性会发生变化, 幼蟹主要摄食水生植物, 二龄成蟹为偏肉食的杂食性, 而自然条件下主要摄食水生植物、附着藻类、小杂鱼、虾类、贝类、水生昆虫和蠕虫^[21—23]。陈炳良等^[22]对中华绒螯蟹食性进行了研究, 结果表明中华绒螯蟹属于以植物性饵料为主的杂食性动物, 植物性饵料以水

生维管束植物为主, 而底质对于生长在水底的植物的分布有直接关系, 不同底质所分布的水生植物种类和生长情况都有较大区别, 其中多数种类维管束植物生长于富含腐殖质的淤泥底质水域^[24], 大多数

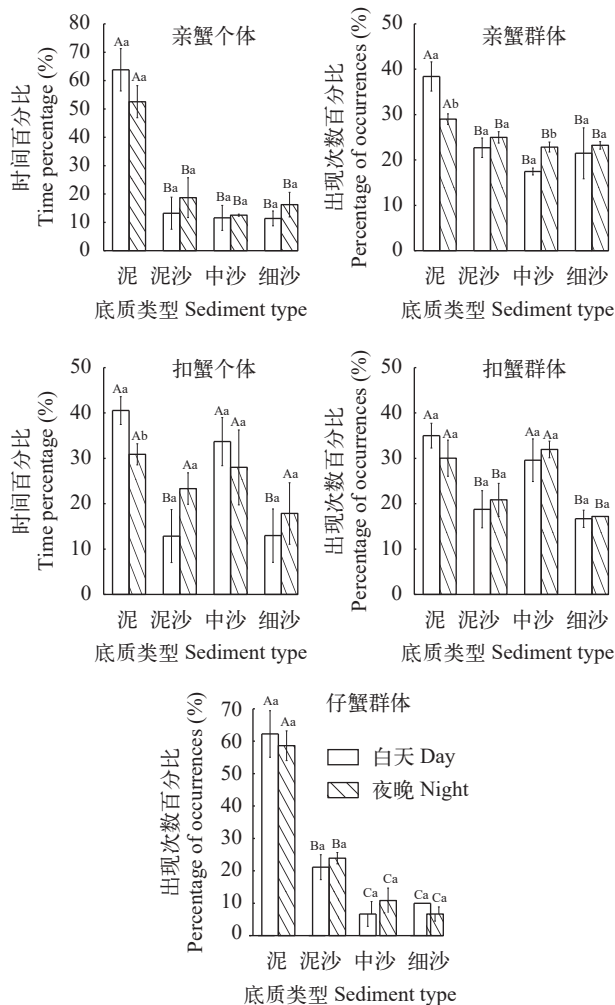


图 4 中华绒螯蟹白天和夜晚对底质的选择

Fig. 4 Selection of sediment by *E. sinensis* during day and night

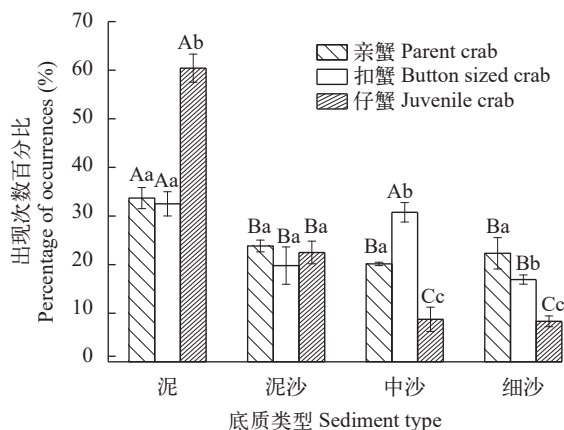


图 3 中华绒螯蟹群体对底质的选择

Fig. 3 Selection of sediment for *E. sinensis* population

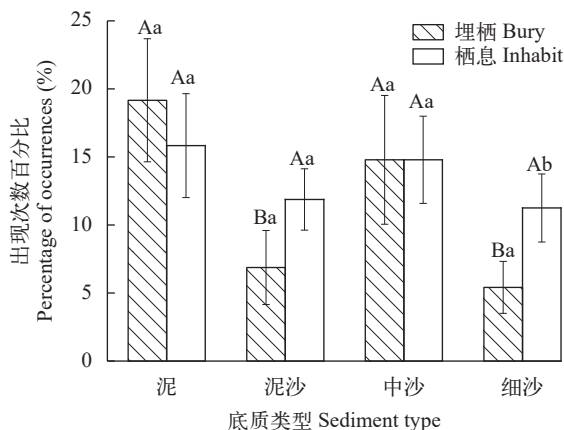


图 5 扣蟹白天栖息方式

Fig. 5 Button sized crab inhabiting state during the day

维管束植物都根生泥中,除此之外,沉水植物对于大眼幼体和仔蟹逃避捕食风险非常重要^[25-28],泥和泥沙上面的沉水植物可以给它们提供隐蔽场所,从而避免捕食者的捕捉。所以中华绒螯蟹选择泥底质,一方面可以获得更多的食物,另一方面可以避免捕食者的捕捉。

3.2 不同发育阶段中华绒螯蟹对底质喜好性的差异

不同发育阶段中华绒螯蟹对底质的喜好性不同,这可能跟它们所处的环境及其长期进化的生境适应性有关:亲蟹较喜好泥底质,在长江口栖息生长时大部分底质为黏土质和粉砂质^[29],长时间栖息生长适应了该生境;仔蟹较喜好泥和泥沙,在靠近河口的江段以上生长时底质类型主要是砂质壤土、黏壤土和壤土,经过长时间进化,适应此处的生境;扣蟹更喜好泥和中沙底质,在内河和湖内栖息生长时底质主要有沙、泥和草3种类型^[30,31],变是长时间进化适应的结果。另外,不同的水域拥有不同的环境特征,而在水生动物对其栖息地的选择研究中,发现其对栖息地的偏好行为容易受到水域底质和水体流速的影响^[32,33],且同类底质可能对不同种类的鱼提供截然不同的功能,甚至在同一物种不同时期也会提供不同功能^[12]。陈学雷等^[6]研究表明,拟穴青蟹大眼幼体喜好海泥底质,而幼蟹喜好

海泥和泥沙底质。在本研究中仔蟹最喜好泥底质,其次是泥沙,扣蟹则喜好泥和中沙底质,但亲蟹只喜好泥底质,这也表明了其不同发育时期对底质选择性存在差异。

3.3 中华绒螯蟹在白天和夜晚对底质选择的差异

扣蟹个体在夜晚对底质的选择无显著性差异可能与其昼伏夜出的生活习性相关。中华绒螯蟹具有显著的昼夜节律,在夜间的活力较强,所以对底质的选择性就相对较弱一些,陈学雷等^[6]对拟穴青蟹的研究表明夜间大眼幼体在各种底质上的相对埋栖率差异不显著,路波等^[34]对瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)的研究表明瓦氏黄颡鱼在静水和流水条件下,在无光补偿中无底质颜色偏好行为,说明其在弱光条件下的活动频繁,与本研究结果相似。中华绒螯蟹昼伏夜出的生活习性与其他虾蟹类是相同的,赵鑫等^[36]研究表明,隐秘螳臂相手蟹(*Chiromantes neglectum*)攀爬芦苇[*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud]在夜间时段攀爬密度和攀爬比例显著高于白天;贾二腾等^[36]对中华绒螯蟹的摄食节律研究结果表明,中华绒螯蟹存在显著的摄食节律,最适宜的投喂时间为22:00;Reymond等^[38]研究表明日本对虾(*Penaeus japonicus*)每天呈现夜间活动的摄食模式。

3.4 不同发育阶段中华绒螯蟹栖息方式的差异

不同发育阶段中华绒螯蟹栖息方式存在差异可能与反捕食习性相关:仔蟹在白天和夜晚均存在埋栖行为,扣蟹白天存在显著的埋栖行为,亲蟹无显著的埋栖现象。某些鱼类对蟹类不仅有较强的捕食能力,而且将蟹类作为其主要食物^[37]。Frederick等^[39]分析了美国 Galveston 湾一种拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)的胃含物,结果显示一年四季中美洲蓝蟹(*Callinectes sapidus*)是这种鱼的主要食物。在生活史早期阶段,蟹类活动能力差,缺乏自我保护能力,往往存活率较低,这个阶段成为制约蟹类种群增长的瓶颈,但随着中华绒螯蟹的不断蜕壳生长,其捕食者日益减少,因此埋栖现象逐渐减弱。

3.5 个体与群体对底质选择的差异

个体和群体的行为因物种不同而存在差异,有些动物存在显著的集群行为,当许多个体放在一起时,它们会聚集在一起,而有些动物则无集群行为,当把多个个体放在一起时,容易引发争斗行为。顾孝连等^[16]对中华鲟(*Acipenser sinensis*)个体和群体底质喜好性进行研究,结果表明个体与群体喜好性相同,与本研究结果相同,而柏杨等^[39]对麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)幼鱼凝聚力和协调性进行研究,结果表明麦穗鱼具有显著的集群行为。本研究

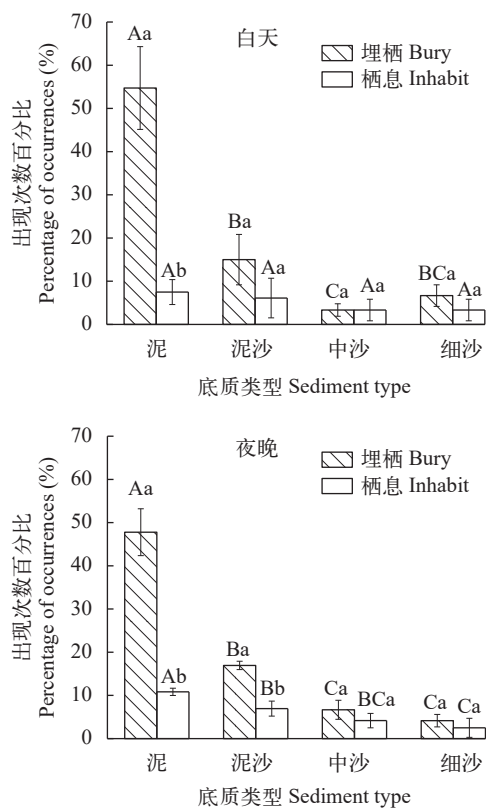


图6 仔蟹白天和夜晚的栖息方式

Fig. 6 Juvenile crab inhabiting state during the day and night

中不同发育阶段中华绒螯蟹个体与群体对底质的喜好性相同, 分析原因可能与中华绒螯蟹的好斗行为有关, 甲壳动物往往因争夺生存空间、繁殖场所等而发生攻击行为, 所以中华绒螯蟹没有显著的集群行为, 另外, 实验装置足够大, 确保了同一底质上可以容纳8只实验蟹共存, 所以群体和个体对底质的喜好性无显著差异。

4 结论

底质作为生境的主要组成部分之一, 是水生动物栖息地研究的重要对象。中华绒螯蟹由于其洄游性, 生活水域不是固定的, 主要分布在河口、长江流域以及内河和湖泊。不同发育阶段中华绒螯蟹对底质的选择均具有显著性差异: 亲蟹喜好泥底质, 以栖息为主, 无显著的埋栖现象; 扣蟹喜好泥和中沙底质, 在晚上也以栖息为主, 但白天存在显著的埋栖行为; 仔蟹喜好泥和泥沙底质, 在白天和夜晚均存在埋栖行为; 白天和夜晚对底质的选择无显著差异。因此, 在养殖中华绒螯蟹时选用泥质土塘为宜, 在增殖放流时选择泥底质较多的区域为宜, 从而为中华绒螯蟹提供适宜生境。

近年来, 随着生境破坏以及过度捕捞, 中华绒螯蟹的资源骤降, 为维持水生生物的可持续发展, 国务院制定了一系列措施来保护水生生物, 如开展水生生物增殖放流活动、自然保护区构建等生境修复工作, 旨在实现水生生物的可持续发展。开展不同发育阶段中华绒螯蟹对底质的喜好性研究, 获得其适宜底质, 可以为增殖放流位点的选择以及人工漂浮湿地和自然保护区构建提供参考。

参考文献:

- [1] Du N S. Migration of *Eriocheir sinensis* [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2004, **31**(2): 56-57,94. [堵南山. 中华绒螯蟹的洄游 [J]. *水产科技情报*, 2004, **31**(2): 56-57,94.]
- [2] Zhuang P. Ontogenetic behavior of sturgeons (acipenseridae) with comments on evolutionary and practical significance [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology Chinese Academy of Sciences, 1999: 101-109. [庄平. 鲟科鱼类个体发育行为学及其在进化和实践中的意义 [D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1999: 101-109.]
- [3] Arnold W S. The effects of prey size, predator size, and sediment composition on the rate of predation of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, on the hard clam, *Mercenaria Mercenaria* (Linné) [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1984, **80**(3): 207-219.
- [4] Freire F A M, Luchiaric A C, Fransozobd V. Environmental substrate selection and daily habitual activity in *Xiphopenaeus kroyeri* shrimp (Heller, 1862) (Crustacea: Penaeoidea) [J]. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 2011, **40**(3): 325-330.
- [5] Zhang P D, Zhang Q, Zhang X M, et al. The effect of substrate type on survival, growth, and behavior of *Fenneropenaeus chinensis* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, **21**(5): 1079-1086. [张沛东, 张倩, 张秀梅, 等. 底质类型对中国明对虾存活、生长及行为特征的影响 [J]. *中国水产科学*, 2014, **21**(5): 1079-1086.]
- [6] Chen X L, Li S J, Lin Q W, et al. Study on the substratum preference of the mud crab, *Scylla paramamosain*, in stage of megalopa and first juvenile [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2009, **28**(2): 254-259. [陈学雷, 李少菁, 林琼武, 等. 拟穴青蟹大眼幼体和第 I 期仔蟹底质选择的研究 [J]. *台湾海峡*, 2009, **28**(2): 254-259.]
- [7] Turra A, Denadai M R. Substrate use and selection in sympatric intertidal hermit crab species [J]. *Brazilian Journal of Biology*, 2002, **62**(1): 107-112.
- [8] Snickars M, Sundblad G, Sandström A, et al. Habitat selectivity of substrate-spawning fish: modelling requirements for the Eurasian perch *Perca fluviatilis* [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2010(398): 235-243.
- [9] Nakamura Y, Shibuno T, Lecchini D, et al. Habitat selection by emperor fish larvae [J]. *Aquatic Biology*, 2009, **6**(1-3): 61-65.
- [10] Martin S D, Harris B A, Collums J R, et al. Life between predators and a small space: substrate selection of an interstitial space-dwelling stream salamander [J]. *Journal of Zoology*, 2012, **287**(3): 205-214.
- [11] Horstkotte J, Plath M. Divergent evolution of feeding substrate preferences in a phylogenetically young species flock of pupfish (*Cyprinodon* spp.) [J]. *Die Naturwissenschaften*, 2008, **95**(12): 1175-1180.
- [12] Galhardo L, Almeida O, Oliveira R F. Preference for the presence of substrate in male cichlid fish: effects of social dominance and context [J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2009, **120**(3-4): 224-230.
- [13] Liu R Q, Zhang S Y. Multivariable analyzing and comparing of water quality of shallow lakes in middle and lower reaches of Changjiang River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, **24**(5): 439-445. [刘瑞秋, 张水元. 长江中下游地区若干湖泊水质的多元分析与比较 [J]. *水生生物学报*, 2000, **24**(5): 439-445.]
- [14] Liu R Q. Preliminary report on physico-chemical properties of main channel and tributaries in upper and middle reaches of the Changjiang River, before and after damming of the Three Gorges Project [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, **24**(5): 446-450. [刘瑞秋. 三峡大坝截流前后长江中上游江段水化学特性的初步调查 [J]. *水生生物学报*, 2000, **24**(5): 446-450.]
- [15] Jiang M X, Cai Q H. Preliminary studies on the riparian plant communities of main channel in the Three Gorges area, the Yangtze River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*,

- 2000, **24**(5): 458-463. [江明喜, 蔡庆华. 长江三峡地区干流河岸植物群落的初步研究 [J]. *水生生物学报*, 2000, **24**(5): 458-463.]
- [16] Gu X L, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Substrate preference of juvenile Chinese sturgeon *Acipenser sinensis* captured from Yangtze River Estuary [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, **27**(2): 213-217. [顾孝连, 庄平, 章龙珍, 等. 长江口中华鲟幼鱼对底质的选择 [J]. *生态学杂志*, 2008, **27**(2): 213-217.]
- [17] Wang W, Cheng Y X, Li Y S. Culture technique of Chinese mitten crab and crab culture (1) [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2007, **34**(1): 25-28. [王武, 成永旭, 李应森. 河蟹养殖及蟹文化①河蟹的生物学 [J]. *水产科技情报*, 2007, **34**(1): 25-28.]
- [18] Yang W G, Wen Y L, Lu B. Investigations on the engineering properties of marine sediments in the sea area off the Pearl River mouth [J]. *Journal of South China University of Technology (Natural Science)*, 1995, **23**(1): 135-143. [杨位洸, 温耀霖, 卢博. 珠江口外浅海海底质的工程性质研究 [J]. *华南理工大学学报(自然科学版)*, 1995, **23**(1): 135-143.]
- [19] Zhao C J. Laboratory study on the characteristics of fine sand bed under waves [J]. *Journal of Waterway and Harbor*, 1994(1): 34-39. [赵冲久. 波浪作用下粉沙质底沙运动特性的试验研究 [J]. *水道港口*, 1994(1): 34-39.]
- [20] Rudnick D, Resh V. Stable isotopes, mesocosms and gut content analysis demonstrate trophic differences in two invasive decapod crustacea [J]. *Freshwater Biology*, 2005, **50**(8): 1323-1336.
- [21] Zu G Z, Guan Y L, Hou G J, *et al.* Utilization and protection of the submerged plant resources by pen-crab culturing in Nushan Lake [J]. *Journal of Lake Sciences*, 1999, **11**(1): 91-96. [祖国掌, 管远亮, 侯冠军, 等. 围栏养蟹利用与女山湖沉水植物资源保护 [J]. *湖泊科学*, 1999, **11**(1): 91-96.]
- [22] Chen B L, Du N S, Ye H F. Analysis on the feeding habit of the mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 1989, **16**(1): 2-5. [陈炳良, 堵南山, 叶鸿发. 中华绒螯蟹的食性分析 [J]. *水产科技情报*, 1989, **16**(1): 2-5.]
- [23] Jin G, Xie P, Li Z J. Food habits of 2-year-old Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*, stocked in Lake Bao'an [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2003, **27**(2): 140-146. [金刚, 谢平, 李钟杰. 湖泊放流二龄河蟹的食性 [J]. *水生生物学报*, 2003, **27**(2): 140-146.]
- [24] Yang H L. The analysis of ecological factors affecting the growth and distribution of aquatic vascular plants [J]. *Journal of Hanshan Teachers College*, 2000(2): 76-79. [杨海龙. 影响水生维管束植物生长与分布的主要生态因子分析 [J]. *韩山师范学院学报*, 2000(2): 76-79.]
- [25] Hedvall O, Moksnes P O, Pihl L. Active habitat selection by megalopae and juvenile shore crabs *Carcinus maenas*: a laboratory study in an annular flume [J]. *Hydrobiologia*, 1998(375-376): 89-100.
- [26] Moksnes P O, Pihl L, van Montfrans J. Predation on postlarvae and juveniles of the shore crab *Carcinus maenas*: importance of shelter, size and cannibalism [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1998(166): 211-225.
- [27] Moksnes P O. The relative importance of habitat-specific settlement, predation and juvenile dispersal for distribution and abundance of young juvenile shore crabs *Carcinus maenas* L [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, **271**(1): 41-73.
- [28] Ruiz G M, Hines A H, Posey M H. Shallow water as a refuge habitat for fish and crustaceans in non-vegetated estuaries: an example from Chesapeake Bay [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1993(99): 1-16.
- [29] Feng G P, Zhuang P, Zhang T, *et al.* Breeding Techniques of *Eriocheir sinensis* Resources in the Yangtze Estuary [M]. Beijing: Science Press, 2017: 7-9. [冯广朋, 庄平, 张涛, 等. 长江口中华绒螯蟹资源增殖技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2017: 7-9.]
- [30] Chen K N, Chen X F, Chen W M, *et al.* Effects of sediments on submerged macrophytes growth [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, **17**(8): 1511-1516. [陈开宁, 陈小峰, 陈伟民, 等. 不同基质对四种沉水植物生长的影响 [J]. *应用生态学报*, 2006, **17**(8): 1511-1516.]
- [31] Zhang Y, Wang Z F, Zhang L, *et al.* Content analysis of nitrogen and phosphorus on different sediment types during wet season in Lake Poyang [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, **24**(1): 135-142. [张媛, 望志方, 张琰, 等. 鄱阳湖丰水期不同底质类型下氮、磷含量分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2015, **24**(1): 135-142.]
- [32] Wahle R A, Steneck R S. Recruitment habitats and nursery grounds of the American lobster *Homarus americanus*: a demographic bottleneck [J]? *Marine Ecology Progress Series*, 1991(69): 231-243. 991(69): 231-243.
- [33] Zhang H, Wei Q W, Yang D G, *et al.* An observation on water current profiles of spawning of *Acipenser sinensis* downward Gezhouba Dam [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, **14**(2): 183-191. [张辉, 危起伟, 杨德国, 等. 葛洲坝下中华鲟自然繁殖流速场的初步观测 [J]. *中国水产科学*, 2007, **14**(2): 183-191.]
- [34] Lu B, Shi X T, Liu D F, *et al.* White and black substrate preference and hiding behavior of *Pelteobagrus vachelli* [J]. *Journal of Hydroecology*, 2012, **33**(5): 36-40. [路波, 石小涛, 刘德富, 等. 瓦氏黄颡鱼对黑白底质颜色偏好和藏匿行为研究 [J]. *水生态学杂志*, 2012, **33**(5): 36-40.]
- [35] Zhao X, Xiong L H. Plant-climbing behavior of a mud-flat crab, *Chiromantes neglectum* in 24hour duration at Phragmites-dominated tidal marsh in Changjiang River Estuary [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2016, **51**(3): 423-433. [赵鑫, 熊李虎. 隐秘螳臂相手蟹攀爬芦苇行为的昼夜变化 [J]. *动物学杂志*, 2016, **51**(3): 423-433.]

- [36] Jia E T, Yan M J, Lai Q C, *et al.* Feeding rhythm of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, **25**(3): 546-554. [贾二腾, 闫明军, 赖起铨, 等. 中华绒螯蟹的摄食节律 [J]. *中国水产科学*, 2018, **25**(3): 546-554.]
- [37] Reymond H, Lagardère J P. Feeding rhythms and food of *Penaeus japonicus* bate (Crustacea, Penaeidae) in salt marsh ponds; role of halophilic entomofauna [J]. *Aquaculture*, 1990, **84**(2): 125-143.
- [38] Frederick S S, Kurtis K S. Feeding habits of red drum (*Sciaenops ocellatus*) in Galveston Bay, Texas: Seasonal diet variation and predator-prey size relationships [J]. *Estuaries*, 2000, **23**(1): 128-139.
- [39] Bai Y, Qin Y L, Peng J L, *et al.* The effect of group size on shoal cohesion and coordination in juvenile *Pseudorasbora parva* [J]. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science)*, 2016, **33**(4): 22-26. [柏杨, 覃英莲, 彭姜岚, 等. 群体大小对麦穗鱼幼鱼凝聚力和协调性的影响 [J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2016, **33**(4): 22-26.]

PREFERENCE FOR SUBSTRATE IN DIFFERENT DEVELOPMENTAL STAGES OF *ERIOCHEIR SINENSIS*

LI Chun-Bo^{1,2}, HUANG Xiao-Rong², FENG Guang-Peng^{1,2}, ZHUANG Ping², GENG Zhi² and WU Ye-Ling^{1,2}

(1. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 20090, China; 2. China Sea and Yangtze Estuary, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Shanghai Engineering Research Center of Fisheries Resources Enhancement and Ecological Restoration of the Yangtze Estuary, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

Abstract: In recent years, due to the construction of large-scale water conservancy projects, human overfishing, lake reclamation, and water pollution had a serious impact on the reproductive migration and habitat of the Chinese mitten crab at the Yangtze River estuary. As a component of the living environment of aquatic organisms, substrate is of great significance for finding habitats for aquatic organisms and protecting aquatic organism resources. In order to explore the preferences of *Eriocheir sinensis* at different developmental stages for the types of substrates, a single factor experiment method was used to study the effects of *E. sinensis* on mud, silt (mud: sand=1:1), medium sand (0.35—0.50 mm) and fine sand (0.25—0.35 mm) at different developmental stages. The results of the study on parent crabs showed that in individual experiment, the percentages of time that parent crab stayed on the mud, silt, medium sand and fine sand were (58.18±6.34)%, (15.95±5.23)%, (12.05±2.38)% and (13.81±2.14)%; in the group experiment, the percentages of parent crabs appearing on the mud, silt, medium sand and fine sand were (33.69±2.17)%, (23.83±1.21)%, (20.15±0.34)% and (22.33±3.23)%, the individual and group experiment results of parent crabs showed that the parent crab preference for mud substrate was significantly higher than the other three substrates, and the differences between them were significant ($P<0.05$). The results of the study on button sized crabs showed that in individual experiments, the percentages of time that button sized crabs stay on the mud, silt, medium sand and fine sand were (35.69±1.73)%, (18.08±3.25)%, (30.83±4.99)% and (15.40±1.91)%; in the group experiment, the percentages of times that crabs appeared on the mud, silt, medium sand and fine sand were (32.51±2.50)%, (19.80±3.84)%, (30.76±2.01)% and (16.93±0.95)%, the individual and group experiment results of the crabs showed that the button sized crabs have a preference for mud and medium sand substrate were significantly higher than the other two, and they were different from each other significant ($P<0.05$). The percentages of times that juvenile crabs appear on the mud, silt, medium sand and fine sand were (60.42±2.89)%, (22.50±2.32)%, (8.75±2.50)%, and (8.33±1.10)%. Juvenile crabs like mud substrate the most, followed by silt, the differences were significant ($P<0.05$). Studies on habitat methods showed that parent crabs have no obvious burial behavior, button sized crabs prefer to bury in mud and medium sand, while juvenile crabs prefer to bury in mud, followed by silt. *E. sinensis* have differences in the choice of substrate, and the requirements and habitat of *E. sinensis* at different developmental stages are also different. The results of this study provide a reference for habitat restoration and resource conservation of *E. sinensis*.

Key words: Substrate; Parent crab; Button sized crab; Juvenile crab; Behavior; *Eriocheir sinensis*