

三棘鲎(*Tachypleus tridentatus*) (Leach, 1819) 稚鲎在台湾澎湖青螺湿地复育关键因子探讨

陈溫柔*, 李桂芬, 曾雀芬

玉林师范学院, 生物与制药学院, 广西 玉林

收稿日期: 2023年1月15日; 录用日期: 2023年2月15日; 发布日期: 2023年2月22日

摘要

本研究主要探讨三棘鲎的稚鲎 *Tachypleus tridentatus* (Leach, 1819) 与环境因子有关的觅食活动。2018年12月至2019年2月在台湾澎湖青螺湿地实施6次净滩活动之后进行调查, 结果表明: 分布于青螺湿地的三棘鲎稚鲎夏季活动频度明显活跃, 在2019年7月下旬与8月分别记录到25只(壳宽30.0~132.0 mm, 平均约61.3 mm)及42只(壳宽28.0~147.0 mm, 平均约57.8 mm)的稚鲎; 其中8月所记录稚鲎个体偏小体型且数量明显多于7月(Mann-Whitney U test, $Z = 1.783$, $p = 0.036$)。数据也显示三棘鲎生长达第7期稚龄(壳宽25.1~31.0 mm)的个体才开始于退潮后进行广布式的地表觅食活动, 且明显群集于排水系支流, 流速缓慢, 水深不及体高(<4 cm)之处; 第11期稚龄(壳宽60.1~76.0 mm)离岸较远, 水深(> 10 cm)之处。另外轨迹数据表明, 第7~10期稚鲎在觅食活动前进时的方位是均匀的(Rayleigh Z test, $r = 0.1422$, $Z = 0.4653$, $n = 23$, $p > 0.05$), 但总体爬行轨迹是体现偏向正趋流性行为(positive rheotaxis) (Nonparametric Binomial Test: test value = 45°, test proportion = 0.5, $n = 23$, $p = 0.011$)。结论: 台湾澎湖青螺湿地的三棘鲎保育, 近来备受关注。例行调查中, 特别是实施人为适宜干预之后(如净滩活动), 纪录到三棘鲎稚鲎量随而增多; 我们认为是脆弱的觅食微栖地已得到改善的结果。推测缓慢的水流有助于三棘鲎稚鲎觅食, 支持趋化觅食策略假说; 提出水流因素的管控是稚鲎栖地建设与管理之一优先项目。

关键词

三棘鲎稚鲎, 复育措施, 正趋流性行为, 青螺湿地, 台湾澎湖

Discussion on Key Factors of Restoration of Juvenile *Tachypleus tridentatus* (Leach, 1819) in Chingluo Wetland of Penghu, Taiwan

Wen-Jou Chen*, Gui-Fen Li, Chueh-Fen Tseng

College of Biology & Pharmacy, Yulin Normal University, Yulin Guangxi

*通讯作者。

文章引用: 陈溫柔, 李桂芬, 曾雀芬. 三棘鲎(*Tachypleus tridentatus*) (Leach, 1819)稚鲎在台湾澎湖青螺湿地复育关键因子探讨[J]. 世界生态学, 2023, 12(1): 67-78. DOI: 10.12677/ije.2023.121009

Abstract

The purpose of the present study was to examine the foraging patterns related to environmental factors of the wild juvenile horseshoe crabs, *Tachypleus tridentatus* (Leach, 1819). After six times beach clean-up activities, which were from December 2018 to February 2019 at Chingluo wetland of Penghu, Taiwan. We recorded that the *T. tridentatus* juveniles, had obviously seasonal activities in late July and August 2019, of which the average of prosomal width (abbr.: pw) (mm) (range, numbers) 61.3 (30.0~132.0, 25) and 57.8 (28.0~147.0, 42), respectively; and the sizes among months had a statistically significant difference (Mann-Whitney U test, $Z = 1.783$, $p = 0.036$). The data also demonstrated when ebbing, the juveniles of the 7th instar stage (pw of 25.1~31.0 mm) began emerging from the sediment of the nearshore habitat for surface feeding around tributary (water depth < 4 cm), and the 11th juveniles (pw of 60.1~76.0 mm) been recorded mainly from far shore area (water depth > 10 cm). In the area of activities of the 7th~10th instar stage juveniles, where water flows weakly, crawling data showed the azimuths of advancing were uniform distribution (Rayleigh Z test, $r = 0.1422$, $Z = 0.4653$, $n = 23$, $p > 0.05$), but the final crawling trajectory positive rheotaxis (Nonparametric Binomial Test: test value = 45° , test proportion = 0.5, $n = 23$, $p = 0.011$), i.e., supported the hypothesis: feeding likely rely primarily on chemical cues, which also lead to clumped-type of internal distribution pattern. Conclusions: The conservation of *T. tridentatus* in Chingluo wetland of Penghu in Taiwan attracts more attention, recently. During a routine survey, especially, after the artificial reasonable restoration policy (i.e. beach clean-up activities in this study) on the Chingluo wetland, where the population of juvenile *T. tridentatus* was recovered subsequently. Of which, we surmise that the weaker water current is one more important factor inducing arheo-chemotaxis strategy adopted by the juvenile *T. tridentatus* for foraging action, and the factor wants to be managed as the top priority in restoration policy.

Keywords

Juvenile *Tachypleus tridentatus*, Restoration Policy, Positive Rheotaxis, Chingluo Wetland, Penghu of Taiwan

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

鲎有活化石之称，是古生物学研究与现代医药试剂原料取得的重要物种，鲎的保育不仅维系了人类健康，亦为人类文明跃升的表征；鲎的物种保育工作除了划设鲎保护区、增加鲎的种群量，更须大众参与保育行动[1] [2] [3]。2019 年世界自然保护联盟(IUCN)的濒危物种红色名录[4]将三棘鲎 *Tachypleus tridentatus* (Leach, 1819)的等级从原本的“数据缺乏级”(DD, Data deficient endangered)，转记为“濒危级”(EN, Endangered)的讯息更强化其迫切需受保育的关注强度[5] [6] [7]。其中，三棘鲎稚鲎的栖地管理与其个体基础生态行为的研究更当列为重点项目[1] [3]。

青螺湿地是台湾地区重要湿地之一，位于澎湖列岛生态敏感区，面积约 250 公顷，是澎湖最大的湿地及红树林复育区[8]，但这复育区近期才有三棘鲎稚鲎的调查纪录报告[9]，本文即为探讨课题当中之一

结果。调查研究开展于 2018 年春季至 2019 年春季, 在青螺湿地进行 6 次净滩活动期间, 记录到三棘稚鲨在 2019 年的夏季活动频度明显比 2018 年同期增多; 从 2018~2019 年度稚鲨种群普查纪录, 表明青螺湿地应该是台湾地区另一处三棘鲨的重要繁殖栖地, 当积极采取保育措施[9]。

本研究在 2019 年夏季, 通过对青螺湿地三棘鲨的稚鲨分布与觅食活动的爬痕特征与微栖地环境的水流因子之间的关系分析, 探讨稚鲨野外觅食的行为策略, 增补其生活史稚鲨期的环境适应知识, 提供推动大众参与保育三棘鲨的基础数据。适时报导青螺湿地因自然环境的改善, 三棘鲨物种增殖效益显著, 也体现适宜的人为措施是鲨物种保育之一重要步骤, 宝贵范例值得重视。

2. 材料与方法

2.1. 研究区概况

青螺湿地位于澎湖本岛的湖西乡北岸, 经纬度为 $23^{\circ}35'48''\text{N}$, $119^{\circ}38'12''\text{E}$, 含盖自然海岸湿地及小部分人为湿地, 是属于混合性湿地类型, 总面积约 2.50 km^2 ; 由北而南规划分成四区, 包括青螺沙嘴海岸区、红树林复育区、青螺鱼池栖地区及红罗湾潮间带区(图 1); 其中, 红罗湾潮间带区是本研究三棘稚鲨活动观察区(图 1(3), A-F)。

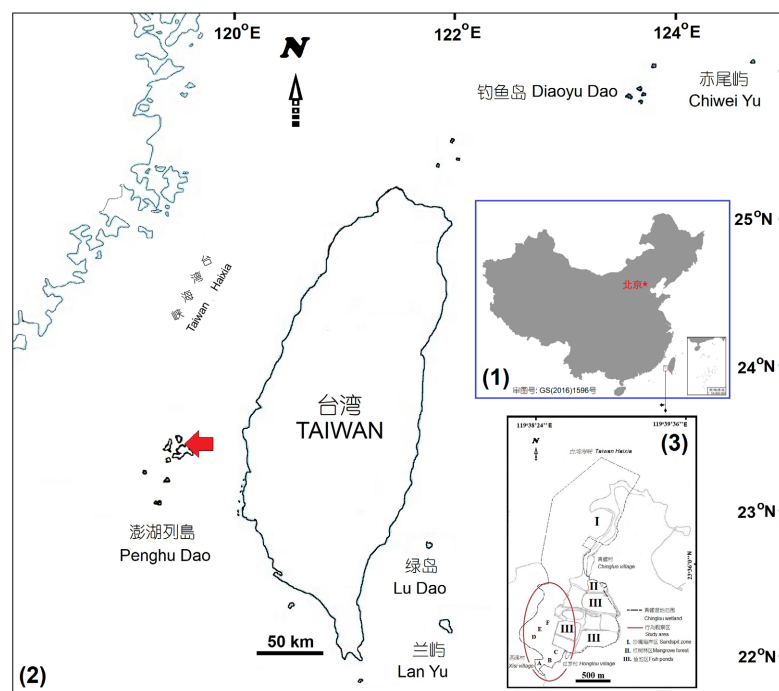


Figure 1. Map of Chingluo wetland in Penghu islands, Taiwan

图 1. 台湾澎湖青螺湿地位置图

2.1.1. 青螺湿地水文

青螺湿地位处四面环海的澎湖列岛, 气候呈多风而干燥的类型, 近 10 年均气温 23.7°C , 最高气温 31.2°C , 最低气温 17.8°C ; 年降雨量少且集中在夏季, 如 2018 年最高 8 月 611.2 mm , 最低 9 月 1.5 mm , 因地表无大型河流, 水源保持不易; 在青螺湿地仅有两条小溪流由东侧和东南侧注入小量的淡水(图 3)。冬季季风强烈, 年平均最大风速可高达 $9.7\sim 12.2 \text{ m/s}$ 。澎湖列岛是由火山熔岩-玄武岩所构成的海洋岛屿, 海拔高度介于 $14\sim 79 \text{ m}$ 之间, 土壤多为玄武岩受风化形成, 岛屿外围海岸有海沙长期堆积而成的旱地[9]

(罗柳墀等, 2019)。位于青螺湿地南侧的红罗湾潮间带是本研究三棘稚鲎活动观察区, 主要为砂质底环境(71.7%), 其组成以泥砂和砂比例最高, 而底质粒径呈现以极细砾、粗砂及中砂等三种类含量居多; 另外生物基质种类偏多者有海草(11.3%)、藻类(10.5%)及珊瑚断枝(6.0%) [10]。

2.1.2. 青螺湿地生物相

青螺湿地生物相调查, 已纪录到: 十足目(Decapoda) 20 科 67 种, 包括长尾类(e.g. shrimps and lobsters) 3 科 13 种、异尾类(Anomura) 4 科 11 种及短尾类(Brachyura) 13 科 43 种, 其中以短尾类的沙蟹科 Ocypodidae 种类达 12 种最多; 而指标性物种有地蟹科 Gecarcinidae 的凶狠圆轴蟹(*Cardisoma carnifex*)及沙蟹科的丽彩招潮蟹(*Uca splendida*)等 2 种[11]。螺贝类(Mollusca), 包含多板纲、腹足纲、双壳纲三纲, 共 84 科 231 种[12]。鸟类族群 31 科 68 种, 两生与爬虫类 4 科 4 种, 鱼池栖地鱼类 26 科 50 种。维管束植物 88 科 318 种, 以禾本科 48 种最多, 菊科 26 种次之; 外来种有 122 种, 占植物总种类数 38.4%, 其中归化植物有 88 种; 另于 1994 至 2000 年间, 在湿地人工栽植海茄苳(*Avicennia marina*)、五梨跤(*Rhizophora stylosa*)、水笔仔(*Kandelia candel*)及榄李(*Lumnitzera racemosa*)等 4 种红树林[8]。

2.2. 研究方法

2.2.1. 净滩活动与物种普查

于 2018 年 12 月 9、29 日及 2019 年 1 月 17、20 日和 2 月 17、28 日, 与青螺村民共同执行 6 次净滩活动。2018 年 12 月 26~29 日及 2019 年 1 月 26~29 日、4 月 1~4 日、7 月 30 日至 8 月 2 日、8 月 20~23 日共 5 次物种普查。

2.2.2. 湿地水质现况监测

水质现况监测, 分别在青螺湿地内的沙嘴海岸区、红树林复育区、鱼池区及红罗湾潮间带区等四个区进行水质采样, 于 2018 年度四个季和 2019 年第一、二季共进行 6 次采样, 且遵行澎湖青螺湿地红树林环境检测方法为基本规范[8]。

2.2.3. 三棘稚鲎活动观察

在潮退前 1 小时抵达调查区, 执行总数量调查法, 潮涨前完成全区普查; 依据红罗湾潮间带水文数据划分 A-F 区进行种群分布比较(图 1(3))。纪录鲎个体基本形质[13] [14]、爬痕及微栖地水流的方位[15] [16] [17]。

1) 三棘稚鲎的爬痕和水流的方位角测量

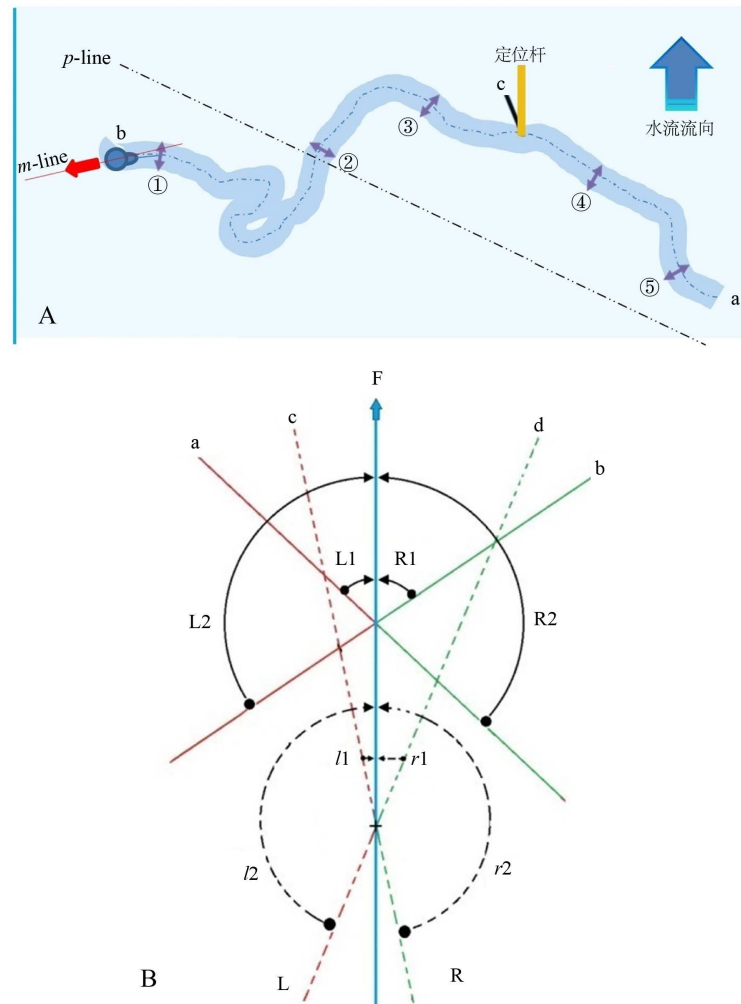
(1) 稚鲎爬痕参数的测量法(图 2(A)), 使用 Olympus TG-3 数码影像纪录爬痕, 测量路径总长度: 由起始点(a)到终点(b)的距离; 爬痕路径平均宽度的测量: 除了选择接近起始、中央与终点三位置, 之外, 另两处为随机选取, 共选择 5 处(如①~⑤)实施测量, 算其宽度均值。(2) 稚鲎爬痕和水流的方位角测量(图 2(B)), 我们主观提出一条虚拟的估测线(pro-estimated line, 记为“p-line”), 假设其所指方向可代表稚鲎总爬痕路径的方向(图 2(A)); 而估测线画法定义如下: 综观整个爬痕轨迹图, 画一条与最直且长的部分路段(如③到④)的平行线。当测量稚鲎总爬痕方向和水流流向(F)的方位角度: 即 p-line (如图 2(B), c 线或 d 线)与 F 所夹成的角度; 若在水流右侧(R)且小于 45°记为 r1 角度, 大于或等于 45°则为 r2 角度; 在水流左侧(L)且小于 45°记为 l1 角度, 大于或等于 45°则为 l2 角度。

2) 三棘稚鲎个体和水流的方位角测量

(1) 稚鲎个体方位的测量方法(图 2(B)), 是采用稚鲎停止在终点位置时, 头部所指方向, 即以稚鲎体中线 (body mid-line)为测量准线, 记为“m-line”所指方向(图 2(A))。稚鲎个体向前方向和水流流向(F)的方位角度: 即 m-line (如图 2(B), a 线或 b 线)与 F 所夹之角度; 若在水流右侧(R)且小于 45°记为 R1 角度, 大于或等于 45°则为 R2 角度; 在水流左侧(L)且小于 45°记为 L1 角度, 大于或等于 45°则为 L2 角度。

2.2.4. 三棘稚蟹觅食行为与水流的方位关系的推测

本研究藉由稚蟹个体指向、稚蟹的爬痕方向与微栖地水流流向所夹角度来推测稚蟹觅食行为与水流的方位关系，依文献划分为正趋流性(positive rheotaxis)与负趋流性(negative rheotaxis)两种行为倾向类型[18][19][20]。另就稚蟹对环境水流因子刺激，本研究归纳为三种响应：1) 个体前向水流：夹角小于 45° ，2) 个体侧向水流：夹角 $45\sim 135^\circ$ ，3) 个体后向水流：夹角 $136\sim 180^\circ$ ；且将个体前向水流者归属为正趋流性行为类型；而侧向与后向水流者则合归为负趋流性行为类型。



注：A：仿野外爬行轨迹，a：爬行起始点，b：终点，c：定位杆影子，①~⑤：爬痕宽测量，*m*-line：稚蟹体中线，*p*-line 平行爬痕最长路径之估算直线，红色箭头指标：个体朝向方位，蓝色箭头指标：水流流向；B：三棘稚蟹方位角测量示意图，a、b：在终点时头部指向，c、d：爬痕方向，F：水流方向，R1、R2、L1、L2 和 r1、r2、l1、l2：夹角度量，R/r：在水流方向的右侧，L/l：在水流方向的左侧。

Figure 2. Schematic diagram of azimuth measurement of the *Tachypleus tridentatus* juveniles' crawling path and water current

图 2. 三棘稚蟹爬痕和水流的方位角测量示意图

2.3. 统计方法

利用 SPSS 19 软件对三棘稚蟹不同大小个体与相应稚龄时期在两次调查之间与各样区的分布，分别

采用非参数 Mann-Whitney U test 和 Kruskal-Wallis test 进行分析其差异性;爬痕路径长与宽和稚鲎大小(壳宽)采用非参数 Kendall's tau-b test 检验其相关性[21];觅食轨迹与活动前进方位采用 Rayleigh's Z test 测验是否均匀分布与绘制方位图[22] [23];水流倾向行为采用非参数二项式检验(Binomial Test): 检验值为 45°, 检验比例值为 0.5 [24]。

3. 论结果与分析

3.1. 青螺湿地红罗潮间带水质现况

本研究青螺湿地三棘稚鲎主要活动观察区红罗潮间带, 2018~2019 年水质现况监测结果(表 1): 海水水温(°C)与盐度(ppt)的最低值~最高值(均值 $\pm$ 标准差)分别为 16.2~30.6 (23.3 ± 5.74)与 32.5~34.3 (33.6 ± 0.71); 其中海水水温呈现季节性变动, 如最低与最高温值分别在冬季与夏季。另在悬浮固体检测项目数值变异最大, 最高值 34.8 (mg/L)和最低值 2.90 (mg/L), 分别出现在 2018 和 2019 两年的冬季。依台湾海域环境质量标准主要指标有 5 项参数, 本区皆达甲级水平, 如下(均值 $\pm$ 标准差)有酸硷值(pH) 7.97 ± 0.29 、溶氧量(DO) 8.22 ± 1.49 (mg/L)、生化需氧量(BOD)小于 2.0 (mg/L)、硝酸盐氮(NH_3N) 0.06 ± 0.01 (mg/L)和总磷(T-P) 0.03 ± 0.03 (mg/L) (见表 1)。

Table 1. General hydrographic parameters at Hongluo bay of Chingluo wetland during 2018~2019

表 1. 2018~2019 青螺湿地红罗潮间带水质概况

参数	均值 $\pm$ SD	范围	台湾海水甲级标准
水温(°C)	23.3 ± 5.74	16.2~30.6	
盐度(ppt)	33.6 ± 0.71	32.5~34.3	
氢离子浓度指数(pH)	7.97 ± 0.29	7.55~8.41	7.5~8.5
溶氧量(DO) (mg/L)	8.22 ± 1.49	6.57~10.5	>5.0
生化需氧量(BOD) (mg/L)	<2.0	<2.0~2.80	<2.0
硝酸盐氮(NH_3N) (mg/L)	0.06 ± 0.01	0.02~0.15	0.30
总磷(T-P) (mg/L)	0.03 ± 0.03	0.01~0.09	0.05
化学需氧量(COD) (mg/L)	6.67 ± 2.08	4.10~9.40	
悬浮固体(SS) (mg/L)	14.3 ± 14.1	2.90~34.8	
总凯氏氮(TKN) (mg/L)	0.42 ± 0.06	0.35~0.51	
导电度(EC) (ms)	53.3 ± 1.80	50.6~54.5	
硝酸盐氮(NO_3N) (mg/L)	0.02 ± 0.01	0.01~0.03	

监测位置: WGS84/TW D97, X: 84648; Y: 2584 532; 监测日期: 2018/2/6, 4/1, 7/6, 11/19; 2019/2/25, 6/18。

3.2. 三棘鲎的分布

于 2019 年 7 月与 8 月两次三棘鲎种群总数量调查, 结果(图 3), 在个体大小方面, 平均壳宽(mm) $\pm$ SD (范围) (个体数)分别为 61.3 ± 23.4 (30.0~132.0) (25)和 57.8 ± 29.9 (28.0~147.0) (42), 且达统计学上的显著差异(Mann-Whitney U test, $Z = -1.783$, $p = 0.036$), 即 7 月与 8 月纪录到鲎个体大小有达统计学的显著差异, 主要是 8 月份稚鲎数量居多(图 4)。另外, 这两次调查三棘鲎物种分别在各样区分布情况, 7 月份没呈现显著差异分布(Kruskal-Wallis test, $\chi^2 = 8.071$, $n = 25$, $p = 0.089$) (图 5); 而 8 月份则达统计学上的显著差异分布(Kruskal-Wallis test, $\chi^2 = 32.254$, $n = 42$, $p = 0.000$) (图 5), 其中, 8 月份明显纪录到较大个体鲎(如第 11 稚龄期)分布远离海岸, 水深下达 20 公分处; 小个体鲎(第 7~10 稚龄期)则成群分布近岸, 浅溪小支流

处，砂泥滩，水深不及体高(约 4 cm) (图 3(B))。

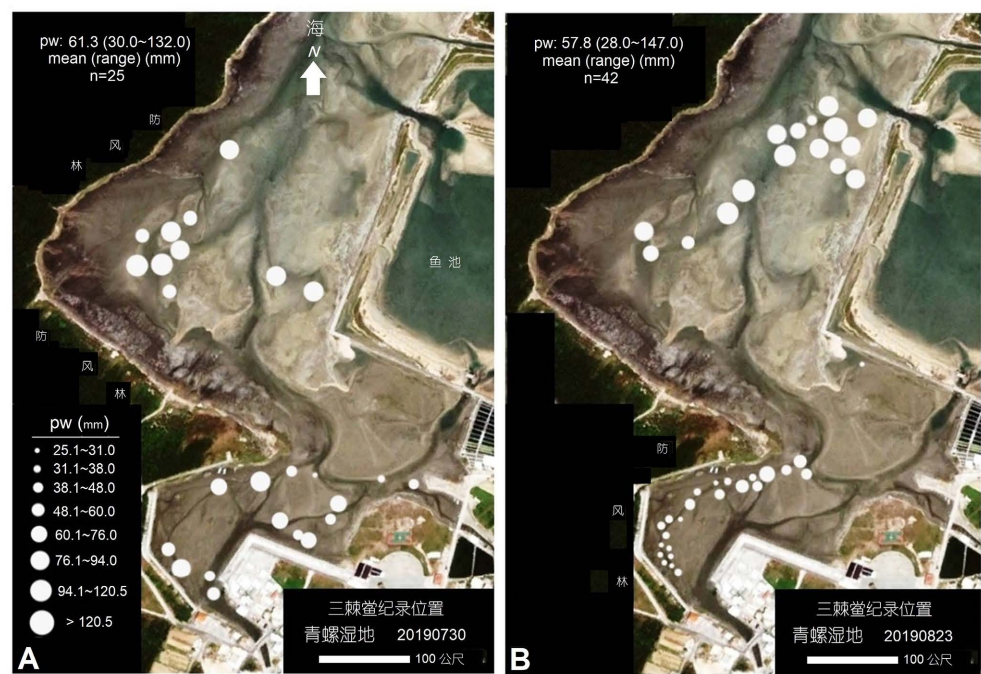


Figure 3. Map of the body size and distributions of the juvenile *Tachypleus tridentatus* were recorded from Chingluo wetland in 30 July and 23 August, 2019
图 3. 2019 年 7 月 30 日和 8 月 23 日在青螺湿地物种普查纪录到三棘鲎个体大小与位置分布图

探讨三棘鲎的稚鲎觅食爬痕路径总长度与个体大小关系(见表 2)，共测得 22 只，为第 7 至 10 期稚鲎，壳宽范围 28~62 mm。爬痕特征为开放型(open-type)，即爬行终点位置与起点位置相离有段距离，而不同一处；爬痕路径长度与宽度(平均值 ± 标准差，范围)分别为 115.5 ± 63.4，28.0~298.0 cm 和 30.3 ± 11.2，17.4~59.6 mm；且与稚鲎壳宽有达统计学的显著相关的关系，分别为 Kendall's tau-b test (τ_b): 0.444, $p < 0.05$ 和 0.447, $p < 0.05$, $n = 22$ 。

Table 2. The relationship between the total length of feeding path and the individual size (prosomal width) of juvenile *Tachypleus tridentatus* ($n = 22$)

表 2. 三棘鲎稚鲎觅食爬痕路径总长度与个体大小(壳宽)关系表($n = 22$)

壳宽范围(mm)	个体数(只)	路径总长范围(cm)
20.1~25.0	0	-
25.1~30.0	8	75 (61~96)
30.1~35.0	4	118 (74~188)
35.1~40.0	6	170 (96~298)
40.1~45.0	1	103
45.1~50.0	1	148
50.1~55.0	0	-
55.1~60.0	1	112
60.1~65.0	1	229

注：“-” 没纪录。

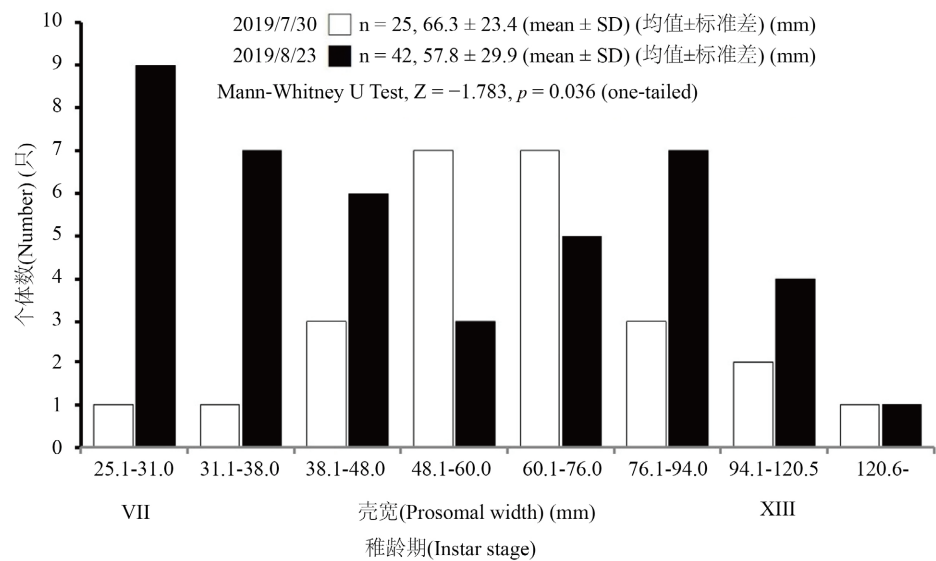


Figure 4. Comparisons of the composition of different sizes of juvenile *Tachypleus tridentatus* and corresponding instar stages, which were recorded in Chingluo wetland in July and August 2019, respectively
图 4. 2019 年 7 月和 8 月在青螺湿地纪录到三棘稚鲎不同大小个体及其相应稚齡时期的组成比较

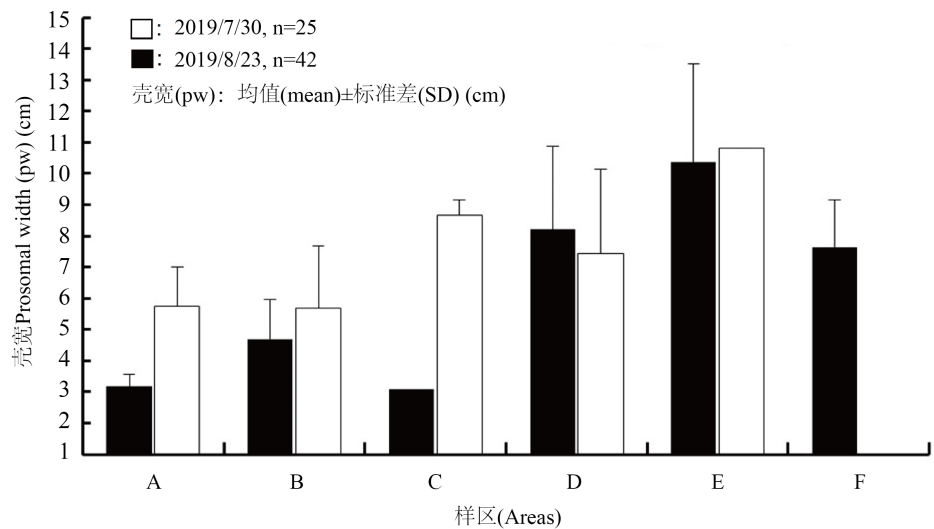


Figure 5. The distributions of different sizes of juvenile *Tachypleus tridentatus* among each area in Chingluo wetland in July and August, 2019
图 5. 2019 年 7 月和 8 月青螺湿地各样区不同大小的三棘鲎稚鲎分布图

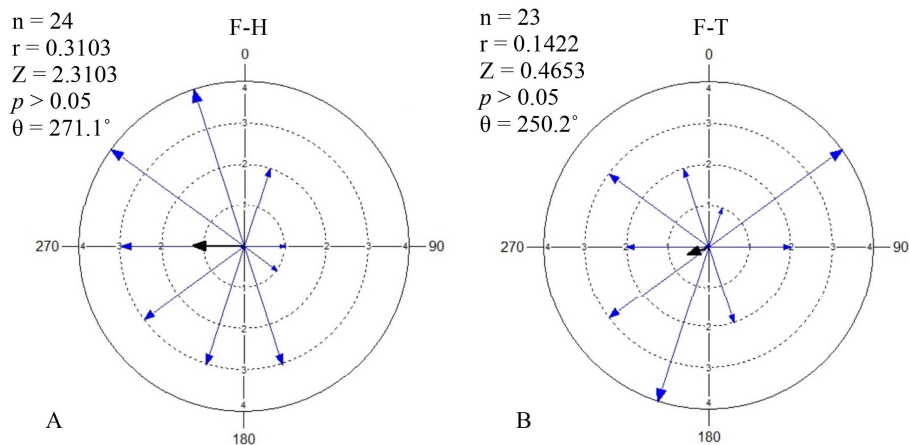
3.3. 三棘稚鲎的爬痕和水流的方位角

青螺湿地红罗湾的三棘鲎的稚鲎行进路径爬痕方向(T)和停留在最终位置时其头部向前所指方向(H), 分别跟水流流向(F)所夹方位角度, 另以 F-T 组和 F-H 组简化表示, 经瑞利方向统计量结果显示皆呈现均匀分布(Rayleigh's Test, $p > 0.05$); 即 F-H 组: $r = 0.3103$, $Z = 2.3103$, $n = 24$, $p > 0.05$ (图 6(A))和 F-T 组: $r = 0.1422$, $Z = 0.4653$, $n = 23$, $p > 0.05$ (图 6(B))。

3.4. 三棘稚鲎觅食行为与水流的方位关系的推测

本研究藉由稚鲎在终点位置时个体指向和估算稚鲎的爬痕方向两者分别与微栖地水流流向所夹角度

来推测稚蟹觅食行为与水流的方位关系，界定基准角度值为 45° 。结果表明，稚蟹在终点位置时个体指向与微栖地水流流向所夹角度大或等于 45° 为 33% ($n = 8$)，小于 45° 为 67% ($n = 16$)，即正趋流性偏多，但非参数二项式检验， $p = 0.152$ ，未达显著差异(图 7，F-H 组)；估算稚蟹的爬痕方向与微栖地水流流向所夹角度大或等于 45° 为 22% ($n = 5$)，小于 45° 为 78% ($n = 18$)，非参数二项式检验， $p = 0.011$ ，达统计学显著差异，即可支持有正趋流性行为(图 7，F-H 组)。



注：A：F-H 组，B：F-T 组；蓝色箭头为单个所夹方位角度，黑色箭头为平均方位角度(θ)。

Figure 6. Schematic diagram of crawling orientation and angle of juvenile *Tachypleus tridentatus* in Hongluo Bay, Chingluo wetland
图 6. 青螺湿地红罗湾的三棘鲎稚蟹爬行活动方位角度示意图

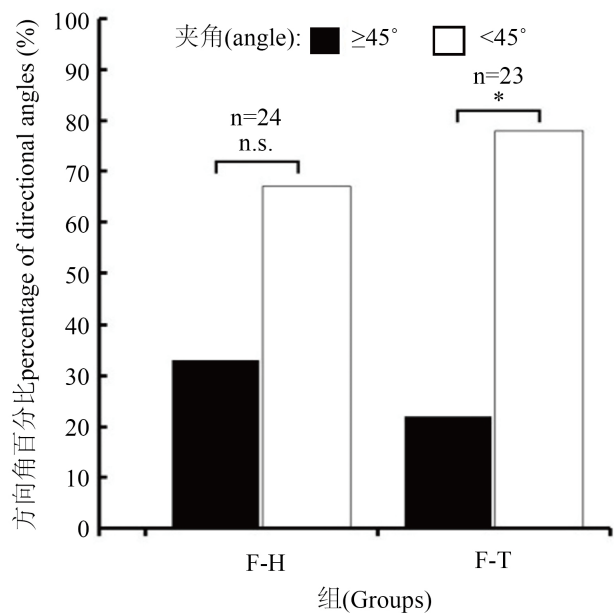


Figure 7. The head toward (Group F-H) and the crawling trajectory (Group F-T) of juvenile *Tachypleus tridentatus* when they stopped at end position, and the angles between them the direction of water flow, respectively compared with the reference angle (45°).

图 7. 三棘鲎稚蟹在觅食最终停留处时头部朝向的方向(F-H 组)和爬痕路径方向(F-T 组)，两者与水流方向所夹方向角度，分别与基准角(45 度)的比较

4. 讨论

澎湖群岛位于台湾海峡中, 每年中秋过后, 强劲的东北季风是漂浮的海洋废弃物被吹送到沿岸地区的主因。青螺湿地也因地形的因素, 在迎风面的海岸区形成拦截效应, 冬季常为质量轻浮的塑胶制品垃圾所困。2018~2019 年春季, 进行澎湖青螺湿地净滩活动之后, 最大成效之一就是珍贵的传统药材物种三棘稚鲎 2019 夏季活动频度明显突现, 也是近年来对本湿地物种监测较特别现象[9], 再次体现人为适宜措施, 如本区域的净滩活动, 是三棘稚鲎复育之一关键步骤, 如同 Chen 等(2004) [25]报导台湾金门的三棘鲎在保护区设立后的成果一样; 鲎动物是干净而健康的潮间带沙滩的指标生物[26] [27], 对污染物极为敏感[28], 尤其栖境不当的改变, 会对成鲎返回产卵产生不利影响, 从而减少了未成年种群的回补数量[29] [30] [31]。

目前三棘稚鲎的野外种群动态基础数据备受关注[14] [32], 也是本研究目标之一。Pittman 等(2001) [33]表述可以通过简单的度量来表征运动方式(movement patterns), 例如路径长度, 方向, 行进持续时间, 速度和转弯角, 提供基本数据作为物种保护和资源管理策略。我们就地现场测量三棘稚鲎基本形质, 爬痕与水流流向等多项参数, 结果显示, 第 7~10 期稚龄三棘鲎在退潮后, 在泥沙滩的排水系统的小支流, 水流速缓慢, 有浅水的积滞处, 明显地成群分布进行觅食活动; 开放式的爬痕(22/23, 96%), 表明觅食行动的开始就一直前行到最终停留位置, 相离有一定距离[14]。我们推测: 三棘稚鲎对微栖地的选择是受刺激响应的, 而且这是有效率的觅食策略。因为种群的内分布型(internal distribution pattern)属于成群式, 是一般物种常因资源分布不均匀所造成现象; 对于觅食者三棘稚鲎成群现象, 我们假设可能缓慢水流带来食物资源讯息所引起(chemically stimulated rheotaxis) [20] [34]。除了由稚鲎种群分布现况调查, 偏向缓慢水流位置的现象, 另在觅食行为数据也得到响应, 即三棘稚鲎总爬痕路径和水流流向所夹方向角度 $< 45^\circ$ 者占百分比率 78% ($p = 0.011$), 表明三棘稚鲎有显著正趋流性行为(positive rheotaxis) (图 7); 至于还有哪些因子, 有待深入检测; 而开放式爬痕表明减少重复觅食位置, 可增加觅食效率[15]。支持第 7~10 期的三棘稚鲎寻找食物的觅食行为也依循自然选择规律, 就是通过最高的觅食效率, 获取最大的净收益, 增加生存机会的最佳觅食对策(optimal foraging strategy), 即在单位觅食时间或努力度下获得最大能量效益[15] [35]。

觅食行为对于三棘稚鲎而言, 本身爬行力(crawling force)当为关键因素之一; 如 Meruy 等(1990) [36]发现美洲稚鲎(*Limulus*)成长到第 5 期稚鲎, 才有足够可与其体重相等的爬行力, 应付退潮时间, 没有水的情况下可能产生的机动力(locomotory forces) [36]。依据本研究记录到三棘稚鲎开始露出沙滩上活动的最小个体为第 7 期稚鲎(壳宽约 28 mm), 表明本区三棘鲎成长到第 7 期稚鲎才开始在微栖地地表上对食源有主动觅食能力。

在觅食爬痕方位的研究方法上, 若环境底质食物均匀分布且活动速率非常缓慢的物种, 直线式前进觅食是最好的策略, 适合使用 D:W 比值法定方位(即 D: 最短直线距离, 表示起始位置跟活动终点位置的直线最短距离; W: 整个路径总长) [15] [16]。但若底质食源不均匀分布或食物化学信息来源需藉弯曲水流携带, 就不适宜直线式前进觅食, 这在本区域三棘稚鲎觅食环境得到响应; 所以我们对 D:W 比值法做了修正, 使用估算总爬痕线的方向, 即采用整个爬痕路径的最长距离倾向的平行线(p-line)所指方向来推估稚鲎爬痕的方向, 提供参考使用。

5. 结论

大环境的改善肯定可让物种种群回复稳定, 而物种在选择微栖地时资源是限制因子。我们就地现场测量三棘稚鲎基本形质, 爬痕与水流流向等多项参数, 结果表明: 分布在青螺湿地的三棘鲎成长达第 7 期稚鲎才具有足够爬行能力开始进行地表面爬行觅食; 第 7~10 期三棘稚鲎觅食行为, 前进时方位均匀不

集中, 但由最终的爬痕迹象显示是逆向着缓慢水流而爬行前进, 属于正趋流性行为, 而留下开放式的爬痕乃减少重复觅食位置的结果, 可增加觅食效率的行为策略。建议在三棘稚鲎栖地管理上, 提供缓慢水流迎合稚鲎趋化觅食行为是稚鲎保育关键因子之一。

致 谢

感谢台湾高雄师范大学罗柳墀教授生态团队及澎湖科大施志昀教授及研究生们, 热忱支持三棘稚鲎普查项目。

基金项目

部分经费: 广西玉林师范学院高层次人才科研启动基金项目, G2019ZK28, G2019ZK36 号。

参考文献

- [1] 谢蕙莲, 范航清, 廖永岩, 等. 鲎保育的三赢策略[J]. 广西科学, 2017, 24(5): 509-515.
- [2] Vestbo, S., Obst, M., Fernandez, F.J.Q., Intanai, I. and Funch, P. (2018) Present and Potential Future Distributions of Asian Horseshoe Crabs Determine Areas for Conservation. *Frontiers in Marine Science*, **5**, Article 164. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00164>
- [3] Yang, H., Thompson, J.R. and Flower, R.J. (2019) Save Horseshoe Crabs and Coastal Ecosystems. *Science*, **366**, 813-814. <https://doi.org/10.1126/science.aaz8654>
- [4] Laurie, K., Chen, C.P., Cheung, S.G., et al. (2019) *Tachypleus tridentatus* (Errata Version Published in 2019). The IUCN Red List of Threatened Species 2019, e.T21309A149768986.
- [5] Liao, Y., Hsieh, H.L., Xu, S., et al. (2019) Wisdom of Crowds Reveals Decline of Asian Horseshoe Crabs in Beibu Gulf, China. *Oryx*, **53**, 222-229.
- [6] John, B.A., Nelson, B.R., Sheikh, H.I., et al. (2018) A Review on Fisheries and Conservation Status of Asian Horseshoe Crabs. *Biodiversity and Conservation*, **27**, 3845-3845. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1650-7>
- [7] 颜明艳, 李琼珍, 宋洁, 等. 基于 MAXENT 模型评估北部湾潮间带中国鲎和圆尾鲎稚鲎的潜在地理分布及种群保育对策[J]. 生态学报, 2019, 39(9): 3100-3109.
- [8] 陈正伦. 澎湖县青螺湿地红树林生长及族群结构之研究[D]: [硕士学位论文]. 屏东: 屏东科技大学, 2012.
- [9] 罗柳墀, 陈温柔. 2017-2019 年度青螺重要湿地基础调查及环境监测报告[R]. 高雄: 高雄师范大学, 2019.
- [10] 冼宜乐, 等. 青螺湿地红罗湾潮间带底质现况调查报告[R]. 马公: 澎湖海洋生物中心, 2015.
- [11] 陈启章. 澎湖青螺及菜园湿地甲壳十足目动物相与分布研究[D]: [硕士学位论文]. 马公: 澎湖科技大学, 2014.
- [12] 陈温柔. 青螺湿地微型贝类数据库建构(子项目) [R]//青螺重要湿地生物资源调查及环境监测报告. 高雄: 高雄师范大学, 2019.
- [13] Sekiguchi, K., Seshimo, H. and Sugita, H. (1988) Post-Embryonic Development of the Horseshoe Crab. *Biological Bulletin*, **174**, 337-345. <https://doi.org/10.2307/1541959>
- [14] Chiu, M.C. and Morton, B. (2004) The Behaviour of Juvenile Horseshoe Crabs, *Tachypleus tridentatus* (Xiphosura), on a Nursery Beach at Shui Hau Wan, Hong Kong. *Hydrobiologia*, **523**, 29-35. <https://doi.org/10.1023/B:HYDR.0000033085.71861.63>
- [15] Scheibling, R.E. (1981) Optimal Foraging Movements of *Oreaster reticulatus* (L.) (Echinodermata: Asteroidea). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **51**, 173-185. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(81\)90127-1](https://doi.org/10.1016/0022-0981(81)90127-1)
- [16] Mueller, B., Bos, A., Graf, G. and Gumanao, G.S. (2011) Size-Specific Locomotion Rate and Movement Pattern of Four Common Indo-Pacific Sea Stars (Echinodermata; Asteroidea). *Aquatic Biology*, **12**, 157-164. <https://doi.org/10.3354/ab00326>
- [17] Sigl, R. and Laforsch, C. (2016) The Influence of Water Currents on Movement Patterns on Sand in the Crown-of-Thorns Seastar (*Acanthaster cf. solaris*). *Diversity*, **8**, Article No. 25. <https://doi.org/10.3390/d8040025>
- [18] Shirley, S.M. and Shirley, T.C. (1998) Behavior of Red King Crab Larvae: Phototaxis, Geotaxis and Rheotaxis. *Marine Behaviour and Physiology*, **13**, 369-388. <https://doi.org/10.1080/10236248809378686>
- [19] Chapman, J.W., et al. (2011) Animal Orientation Strategies for Movement in Flows. *Current Biology*, **21**, 861-870. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.08.014>

-
- [20] Cohen, Y. (2019) Navigation towards the Source through Chemosensory Strategies and Mechanisms. In: *Oxford Research Encyclopedia of Neuroscience*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190264086.013.315>
- [21] Conover, W.J. (1980) Practical Nonparametric Statistics. 2nd Edition, John Wiley and Sons Press, New York.
- [22] Botton, M.L. and Loveland, R.E. (1987) Orientation of the Horseshoe Crab, *Limulus polyphemus*, on a Sandy Beach. *Biological Bulletin*, **173**, 289-298. <https://doi.org/10.2307/1541542>
- [23] Zar, J.H. (1999) Biostatistical Analysis. 4th Edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs Press, New York.
- [24] Mehta, C.R. and Patel, N.R. (1966) SPSS Exact Tests 7.0 for Windows. SPSS Inc. Press, Chicago.
- [25] Chen, C.P., Yeh, H.Y. and Lin, P.F. (2004) Conservation of the Horseshoe Crab at Kinmen, Taiwan: Strategies and Practices. *Biodiversity and Conservation*, **13**, 1889-1904. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000035868.11083.84>
- [26] Morton, B. and Morton, J. (1983) The Sea Shore Ecology of Hong Kong. Hong Kong University Press, Hong Kong.
- [27] 洪水根. 中国螯生物学研究[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2011.
- [28] Botton, M.L. and Itow, T. (2009) The Effects of Water Quality on Horseshoe Crab Embryos and Larvae. In: Tanacredi, J.T., Botton, M.L. and Smith, D.R., Eds., *Biology and Conservation of Horseshoe Crabs*, Springer, Boston, 439-454. https://doi.org/10.1007/978-0-387-89959-6_27
- [29] Hsieh, H.-L. and Chen, C.-P. (2009) Conservation Program for the Asian Horseshoe Crab *Tachypleus tridentatus* in Taiwan: Characterizing the Microhabitat of Nursery Grounds and Restoring Spawning Grounds. In: Tanacredi, J.T., Botton, M.L. and Smith, D.R., Eds., *Biology and Conservation of Horseshoe Crabs*, Springer, Boston, 417-438. https://doi.org/10.1007/978-0-387-89959-6_26
- [30] Hsieh, H.-L. and Chen, C.-P. (2005) Current Status of *Tachypleus tridentatus* in Taiwan for Red List Assessment. In: Carmichael, R.H., Botton, M.L., Shin, P.K.S. and Cheung, S.G., Eds., *Changing Global Perspectives on Horseshoe Crab Biology, Conservation and Management*, Springer, Cham, 383-396. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19542-1_22
- [31] Sekiguchi, K. and Shuster Jr., C.N. (2009) Limits on the Global Distribution of Horseshoe Crabs (Limulacea): Lessons Learned from Two Lifetimes of Observations: Asia and America. In: Tanacredi, J.T., Botton, M.L. and Smith, D.R., Eds., *Biology and Conservation of Horseshoe Crabs*, Springer, Boston, 5-24. https://doi.org/10.1007/978-0-387-89959-6_1
- [32] Kawahara, D. (1982) Investigations on Ecology of Horseshoe Crab Larvae. *Aquabiology*, **4**, 380-382.
- [33] Pittman, S.J. and McAlpine, C.A. (2001) Movements of Marine Fish and Decapod Crustaceans: Process, Theory and Application. *Advances in Marine Biology*, **44**, 205-294. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(03\)44004-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(03)44004-2)
- [34] Atema, J. (1996) Eddy Chemotaxis and Odor Landscapes: Exploration of Nature with Animal Sensors. *Biological Bulletin*, **191**, 129-138. <https://doi.org/10.2307/1543074>
- [35] MacArthur, R.H. and Pianka, E.R. (1966) On Optimal Use of a Patchy Environment. *The American Naturalist*, **100**, 603-609. <https://doi.org/10.1086/282454>
- [36] Meruy, T.W. and Gibson, D.G. (1990) Force Generation in Juvenile *Limulus polyphemus*: Effects on Mobility in the Intertidal Environment. *Bulletin of Marine Science*, **47**, 536-545.