

不同温度下多棘海盘车对菲律宾蛤仔的摄食选择性研究

李淑芸, 张秀梅*, 聂 猛, 李文涛, 张沛东

(中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 为了解不同水温环境中(5~25℃)多棘海盘车(4~8 cm)对菲律宾蛤仔(20~40 mm)的摄食选择性,本实验利用饵料收益率、摄食规格选择性、摄食量与摄食率等指数,分析了温度、多棘海盘车规格及饵料规格对多棘海盘车摄食选择性的影响。结果显示,实验条件下,捕食者及被捕食者规格对饵料收益率影响显著,温度对饵料收益率影响不显著;根据饵料收益模型,4种规格多棘海盘车依次在摄食20、23、30和35 mm蛤仔时的饵料收益率最大,收益率分别为0.62、0.70、0.83、0.94 mg/min;5~15℃条件下,摄食量随水温升高而增大,15℃为多棘海盘车摄食蛤仔的最适水温,此时5~8 cm多棘海盘车摄食量均达最大值,分别为0.37、0.45和0.54 g/d,之后随水温升高摄食量减小;摄食率昼夜差异显著,夜间显著高于白天;青岛近海5—6月的水温(13~18℃)为蛤仔春季繁殖的适宜水温,也是多棘海盘车最适生长和摄食温度,此时应加强对多棘海盘车的防治和清除。

关键词: 多棘海盘车; 菲律宾蛤仔; 温度; 规格; 摄食; 选择性

中图分类号: S 966.2

文献标志码: A

海星是棘皮动物门海星纲(Asteridea)动物的统称,主要捕食海底行动较迟缓的海洋动物,如双壳类、海胆、牡蛎和海葵等^[1-3],在其高强度的捕食压迫力下,往往会给贝类增殖造成巨大经济损失。国外对海星捕食行为的研究较早,主要集中在捕食危害^[4-6]、摄食过程^[7-9]及捕食压力^[10-12]的基础理论研究。Feder^[13]研究了赭石海星(*Pisastero chraceus*)对3种经济贝类的摄食方式及过程;Nadeau等^[14]研究了异色海盘车(*Asterias vulgaris*)对海扇贝(*Placopecten magellanicus*)的摄食过程及摄食率;Reese^[15]根据多棘海盘车对白樱蛤(*Macoma calcarea*)摄食研究,初步探讨了饵料大小及丰度对海星摄食选择性的影响。研究发现,捕食者对饵料生物的捕食会受饵料密度、寻觅或处理难易程度的影响^[16-19]。蟹类、蛎鹬在摄食贻贝、鸟蛤时,会为摄食大个体饵料生物付出代价(如索食器官受伤),故更喜好摄食中等个体的饵料生物^[19-21]。波罗

的海海星(*A. rubens*)对贻贝的摄食也存在相似现象^[22]。海星的捕食会受饵料因素影响,还会受环境因子(如温度、光照、盐度等)及自身生理因素的影响^[23-24]。Mackenzte^[25]研究发现,福氏海盘车(*A. forbesi* Desor)周年内摄食率的差异主要受季节温度变化的影响。多棘海盘车的摄食行为及摄食率也与环境因子有关,如温度等^[26]。根据最佳觅食理论(Optimal Foraging Theory),捕食者在摄食时会选择能量收益最大的饵料,即选择那些单位处理时间内含有最大能量的饵料^[27]。赭石海星对紫贻贝(*Mytilus californiacus*)的摄食表明,海星所能捕食最大规格的饵料并不受自身形态大小的限制,而是遵循最佳觅食理论中能量收益最大化的原则^[28]。

我国黄海、渤海常见的海星主要有多棘海盘车(*A. amurensis*)、罗氏海盘车(*A. rolleston* Ben)、陶氏太阳海星(*Solaster dawsoni* Verrill)等^[29]。多棘海盘车,隶属于棘皮动物门

收稿日期:2014-01-08 修回日期:2014-04-15

资助项目:国家海洋公益性行业科研专项(201003068)

通信作者:张秀梅,E-mail:gaozhang@ouc.edu.cn

(Echinodermata)、海星纲(Asteroidea)、钳棘目(Forcipulatida)、海盘车科(Asteriidae)、海盘车属(Asterias),为我国黄海、渤海习见种,营底栖生活,以双壳蛤多的沙或砾石、碎贝壳区最多^[1],对许多经济贝类如牡蛎、鸟蛤、扇贝等有严重的破坏性^[30-31]。菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)是我国传统“四大养殖贝类”之一^[32],2007年由于海星入侵导致青岛胶州湾60%的蛤仔受害,蛤仔养殖业遭受毁灭性打击^[33]。国内对海星的研究起步较晚,主要集中在其营养成分的鉴定及利用^[34-36],对其摄食的研究直至近年才有少数报道^[37-39]。本研究通过多棘海盘车对菲律宾蛤仔的摄食实验,研究了温度、多棘海盘车规格及菲律宾蛤仔规格对多棘海盘车饵料收益率及摄食选择性的影响,以探讨多棘海盘车的摄食行为生态学特性,定量评价其对贝类底播增殖的危害,为贝类有害生物的防治与清除提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

菲律宾蛤仔,购自青岛水产批发市场,洗净后测壳长,每5 mm为一个等级,共划分为4个规格等级:20~25、25~30、30~35和35~40 mm,分槽暂养。

多棘海盘车取自青岛浮山湾近海海域,用一种海星无水活体运输箱运回实验室,在圆形循环水槽中暂养。暂养期间,水温控制在(15±0.3)℃,pH值约为7.6±0.4,盐度维持在30~31,溶氧量保持在5.5 mg/L左右。每天早晚分别于8:00和22:00向多棘海盘车投喂新鲜的菲律宾蛤仔肉。期间若有死亡个体立即清理。

1.2 实验方法

响应面实验 以温度、多棘海盘车规格及饵料规格3种因素为自变量,多棘海盘车饵料收益率为响应值,采用响应面分析法在三因素三水平上进行分析,以得到饵料收益率的二次回归模型。

摄食实验 暂养结束后,将多棘海盘车按照1 cm为一个等级,划分为4个规格等级:4~5、5~6、6~7和7~8 cm,进行分槽处理。设定5、10、15、20和25℃5个温度梯度,每个温度梯度设置4个处理,分别放入4种不同规格的多棘海盘车,每个处理3个重复,每个重复放6只相同规

格的多棘海盘车。每个处理放入不同等级规格的蛤仔各10只。每天早晚吸残渣,记录空壳数目作为摄食量,为确保有充足的饵料供应,对吃掉或死亡的蛤仔用相同规格的个体补齐。记录时,正在被摄食的和被摄食不完全的蛤仔不记为多棘海盘车的摄食量。实验周期为20 d。实验结束时,测多棘海盘车的辐径和湿重。

1.3 数据处理分析

饵料收益率 菲律宾蛤仔的干重(ash free dry weight, AFDW):取不同规格的菲律宾蛤仔各40只,开壳,取其软体部,在60℃烘箱下烘4 d,至恒重,550度下燃烧干肉后再称重,得到干重。

多棘海盘车对蛤仔的处理时间(T):从多棘海盘车与蛤仔相遇触碰开始,到摄食完毕释放空壳为止。将不同规格的蛤仔和不同规格的多棘海盘车以1:1的比例放入水槽中,分别记录处理时间。每个处理用20只多棘海盘车进行观察、统计。

饵料收益率(profitability):用饵料干重和多棘海盘车对蛤仔处理时间的比值表示,即AFDW/T。

用Design-Expert软件对实验结果进行响应面分析,通过二次多元回归拟合,得到饵料收益率与温度、多棘海盘车规格、饵料规格的二次多项回归方程,及3种因素对饵料收益的影响。

摄食选择性 为测定同一温度下不同规格的多棘海盘车对不同规格蛤仔的摄食选择性,将4种规格的多棘海盘车分槽处理,每个处理3个重复,每个重复放6只多棘海盘车。实验前后测多棘海盘车湿重,捕食实验共进行20 d。

本实验中的饵料选择指数(a_i)定义^[40]如下:

$$a_i = \frac{r_i/n_i}{\sum_{j=1}^q r_j/n_j} \times 100\%, i = 1, \dots, q$$

式中, a_i 为捕食者对第*i*规格饵料生物的选择指数, r_i, r_j 分别为多棘海盘车对第*i(j)*规格菲律宾蛤仔的摄食量, n_i, n_j 分别为第*i(j)*种饵料生物投放的数量, q 表示蛤仔的规格等级数。

摄食量 多棘海盘车在某一温度下对某种规格菲律宾蛤仔的摄食量(TC)计算公式如下:

$$TC = \sum_{i=1}^q AFDW_i \cdot m_i, i = 1, \dots, q$$

式中,TC为某种规格的多棘海盘车在某一温度下对菲律宾蛤仔的摄食量,AFDW_{*i*}为第*i*等级规格

蛤仔的干重, m_i 为多棘海盘车对第 i 等级规格蛤仔的摄食数量。

摄食率 多棘海盘车摄食率 (feeding rate, FR) 计算公式如下:

$$FR = 100 \times \frac{TC}{(W_0 + W_t)/2}$$

式中, FR 为海盘车的摄食率, TC 为实验期间多棘海盘车白天或黑夜的平均摄食量, W_0 为多棘海盘车的初始均重, W_t 为终末均重。

2 结果

2.1 饵料收益率

随菲律宾蛤仔规格增大, 干重增加。20 ~

25 mm 蛤仔的干重为 4.06 g, 25 ~ 30 mm 蛤仔的干重为 4.56 g, 30 ~ 35 mm 蛤仔的干重为 5.09 g, 35 ~ 40 mm 的蛤仔则增加到 6.29 g。

不同条件下, 多棘海盘车摄食蛤仔所用的时间不同, 最小值为 124.50 min (15 °C 条件下 7 ~ 8 cm 多棘海盘车摄食 20 ~ 25 mm 的蛤仔), 最大值为 1 652.49 min (25 °C 条件下 4 ~ 5 cm 多棘海盘车摄食 35 ~ 40 mm 的蛤仔)。相同温度下, 多棘海盘车对蛤仔的摄食时间随饵料规格的增大而显著增加。多棘海盘车摄食相同规格蛤仔的时间随着自身规格的增大而减小, 并且随蛤仔规格的增加, 不同规格多棘海盘车的摄食时间差异显著 (图 1)。

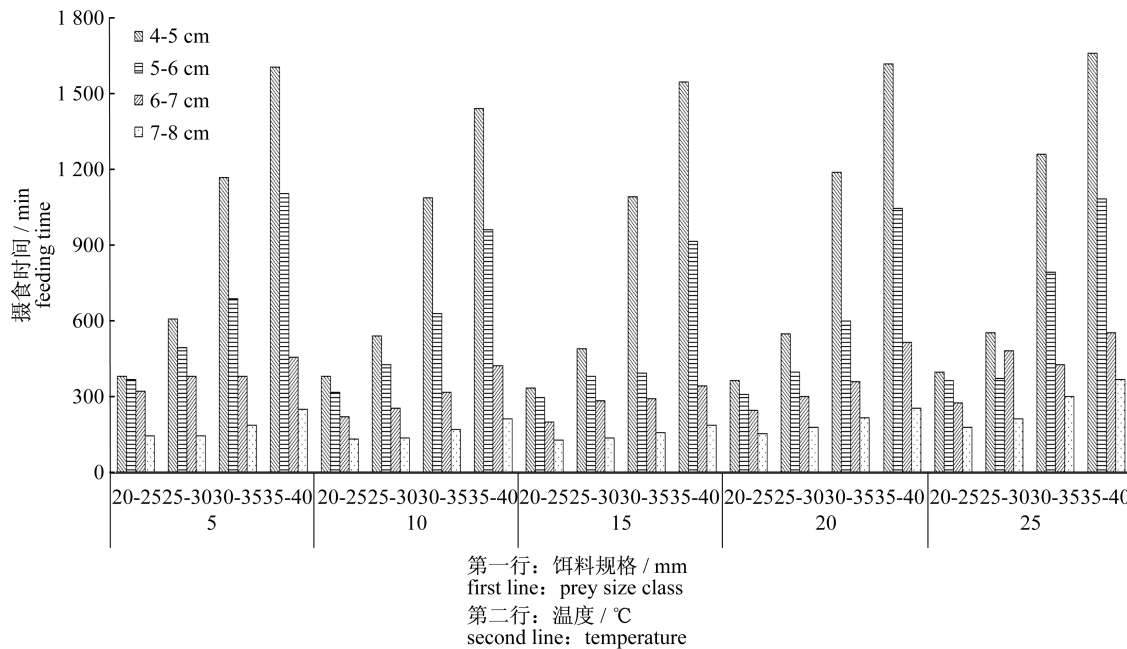


图 1 不同温度下多棘海盘车的摄食时间

Fig. 1 Feeding time of *A. amurensis* at different temperatures

根据蛤仔干重和海盘车的摄食时间, 得到多棘海盘车摄食蛤仔的饵料收益率, 如图 2 所示。同种规格的饵料, 随多棘海盘车规格增大, 饵料收益率也随之增大。多棘海盘车对蛤仔的摄食率最大值可达 0.87 mg/min (15 °C 条件下 7 ~ 8 cm 多棘海盘车摄食 25 ~ 30 mm 的蛤仔), 最小值仅为 0.10 mg/min (5、15、20、25 °C 条件下 4 ~ 5 cm 多棘海盘车摄食 35 ~ 40 mm 的蛤仔)。4 ~ 5 和 5 ~ 6 cm 多棘海盘车摄食 20 ~ 25 mm 蛤仔时可获得最大饵料收益率, 并显著高于其他规格的蛤仔组; 在 5 ~ 15 °C, 7 ~ 8 cm 多棘海盘车摄食 25 ~

30 mm 蛤仔的饵料收益率较高。

对影响多棘海盘车饵料收益率 (profitability- Y) 的温度 (temperature- A)、多棘海盘车规格 (size class of *A. amurensis*- B)、饵料规格 (prey size class- C) 3 种因素, 利用 Design-Expert 软件进行了三因素三水平响应面分析, 实验设计与结果见表 1 和表 2。利用 Design-Expert 软件对实验结果进行二次多元回归拟合, 得到饵料收益率 Y 与编码自变量 A 、 B 、 C 的二次多项回归方程:

$$Y = 0.24 + 0.26B - 0.066C + 0.020BC - 0.016A^2 + 0.25B^2 - 0.036C^2$$

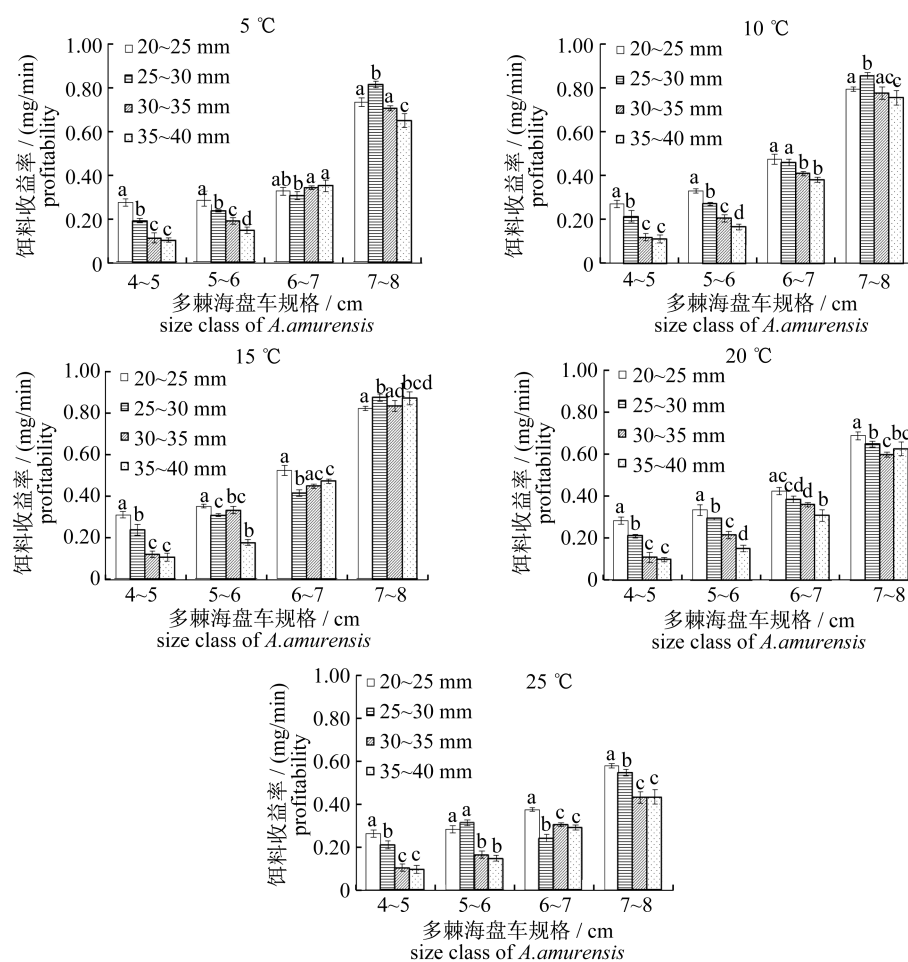


图2 多棘海盘车摄食菲律宾蛤仔的饵料收益率

不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 以下图中注释同图2

Fig.2 Profitability of the different clams classes for four *A. amurensis* classes

Different letters above error bars indicate significant differences ($P < 0.05$). The same as the following

表1 响应面分析因素与水平

因素 factors	编码 coding	水平 levels		
		+1	0	-1
温度/°C temperature	A	25	15	5
多棘海盘车规格/cm size class of <i>A. amurensis</i>	B	8	6	4
饵料规格/mm prey size class	C	40	30	20

表2 响应面分析方案与实验结果

序号 number	因素 factors			Y(饵料 收益率) profitability
	A(温度) temperature	B(多棘海 盘车规格) size class of <i>A. amurensis</i>	C(饵料 规格) prey size class	
1	0	0	1	0.14
2	1	1	1	0.64
3	1	1	-1	0.73
4	0	0	0	0.23

续表2

序号 number	因素 factors			Y(饵料 收益率) profitability
	A(温度) temperature	B(多棘海 盘车规格) size class of <i>A. amurensis</i>	C(饵料 规格) prey size class	
5	-1	-1	-1	0.27
6	0	0	0	0.23
7	-1	-1	-1	0.27
8	-1	1	1	0.64
9	-1	1	-1	0.73
10	1	0	0	0.23
11	0	0	0	0.23
12	0	0	0	0.23
13	0	0	0	0.23
14	-1	-1	1	0.10
15	0	1	0	0.81
16	0	0	-1	0.28
17	-1	0	0	0.23
18	1	-1	1	0.10
19	0	-1	0	0.19
20	0	0	0	0.23

对上述回归模型进行方差分析(表 3),结果表明,自变量与响应值之间的线性关系极显著($P < 0.0001$),回归模型的决定系数为 99.33%,拟合程度较好,说明该模型能够解释 99.33% 的变化。因此,可用此模型对不同因素对多棘海盘车饵料收益率的影响进行预测和分析。

在所得模型中,一次项 B ($P < 0.0001$)、 C ($P < 0.0001$) 对饵料收益率影响极显著,二次项 B^2 ($P < 0.0001$) 影响极显著、 C^2 ($P < 0.05$) 影响显著,交互项作用不显著。

利用 Design-Expert 软件对表 2 的数据进行二次多元回归拟合,所得到的二次回归方程的响应面及其等高线见图 3~图 5。从图中可以直观看出两两交互作用对响应值的影响。当多棘海盘车规格和蛤仔规格分别在 7~8 cm、30~35 mm 时,饵料收益率最大。通过软件分析得出,饵料收益最大时多棘海盘车为 8 cm,菲律宾蛤仔为

35 mm,模型预测收益率为 0.94 mg/min。

表 3 回归模型方差分析
Tab.3 Analysis of variance with regression model

变异来源 source	平方和 SS	自由度 df	均方 MS	F 值 F-value	P 值 P-value
模型 model	0.990	9	0.11	163.94	<0.0001
A	0.000	1	0.000	0.000	1.0000
B	0.690	1	0.69	1027.05	<0.0001
C	0.044	1	0.044	65.17	<0.0001
AB	0.000	1	0	0	1
AC	0.000	1	0	0	1
BC	0.0032	1	0.0032	4.79	0.0535
A ²	0.0007364	1	0.0007364	1.10	0.3186
B ²	0.18	1	0.18	264.69	<0.0001
C ²	0.003636	1	0.003636	5.44	0.0419
残差 residual	0.006684	10	0.0006684		
总变异 cor total	0.99	19			

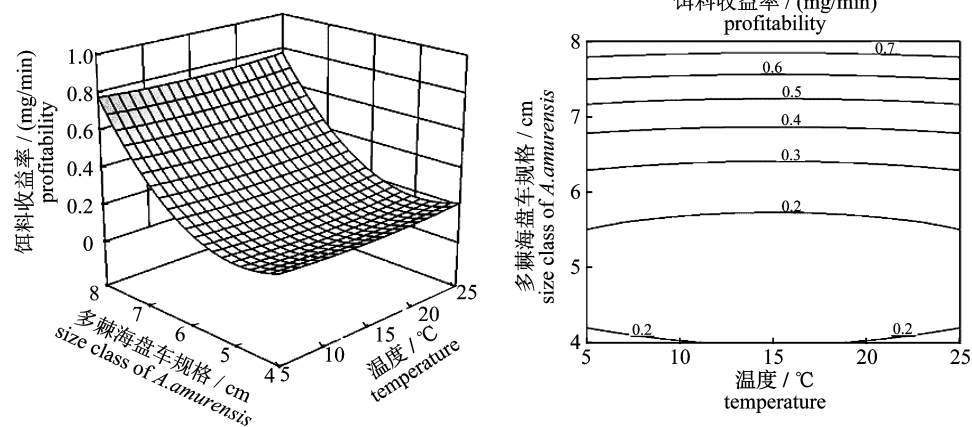


图 3 温度和多棘海盘车规格交互作用对饵料收益率的影响

Fig. 3 Effect of interaction between the temperature and size class of *A. amurensis* on profitability

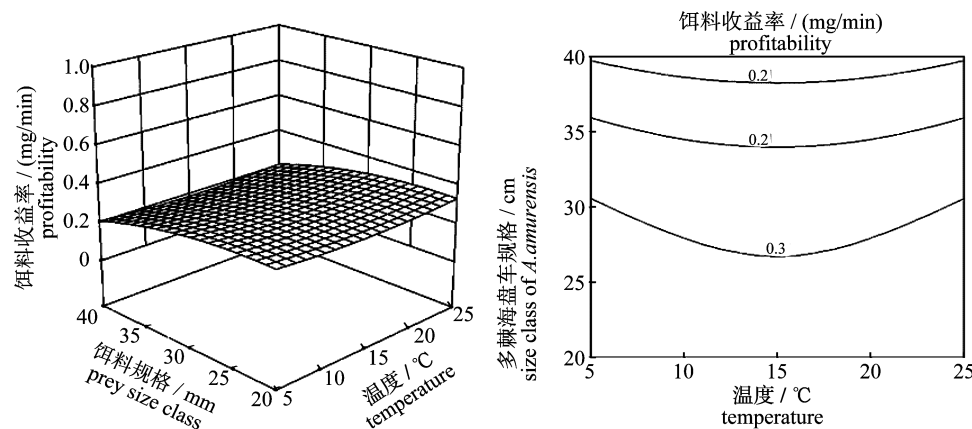


图 4 温度和饵料规格交互作用对饵料收益率的影响

Fig. 4 Effect of interaction between the temperature and prey size class on profitability

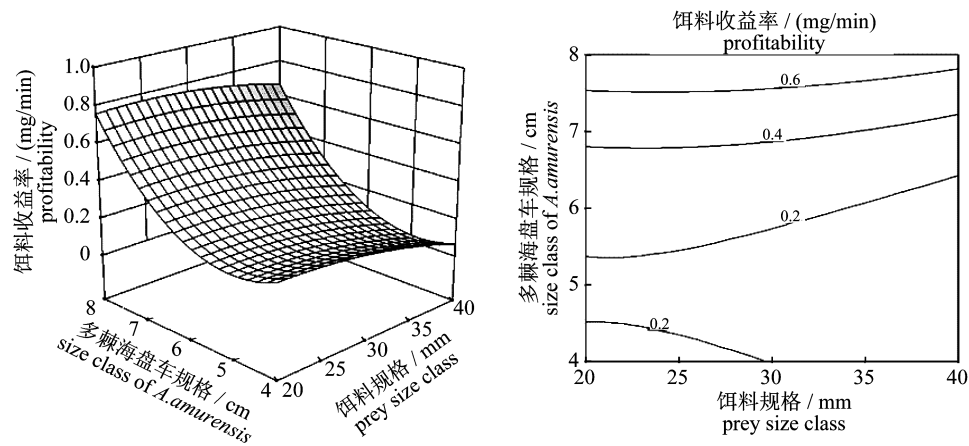


图5 多棘海盘车规格和饵料规格交互作用对饵料收益率的影响

Fig. 5 Effect of interaction between the size class of *A. amurensis* and prey on profitability

2.2 摄食选择性

多棘海盘车对不同规格饵料的摄食选择性指

数如图6所示。在5℃下,4~5 cm多棘海盘车

最喜食20~25和25~30 mm的蛤仔,选择性指

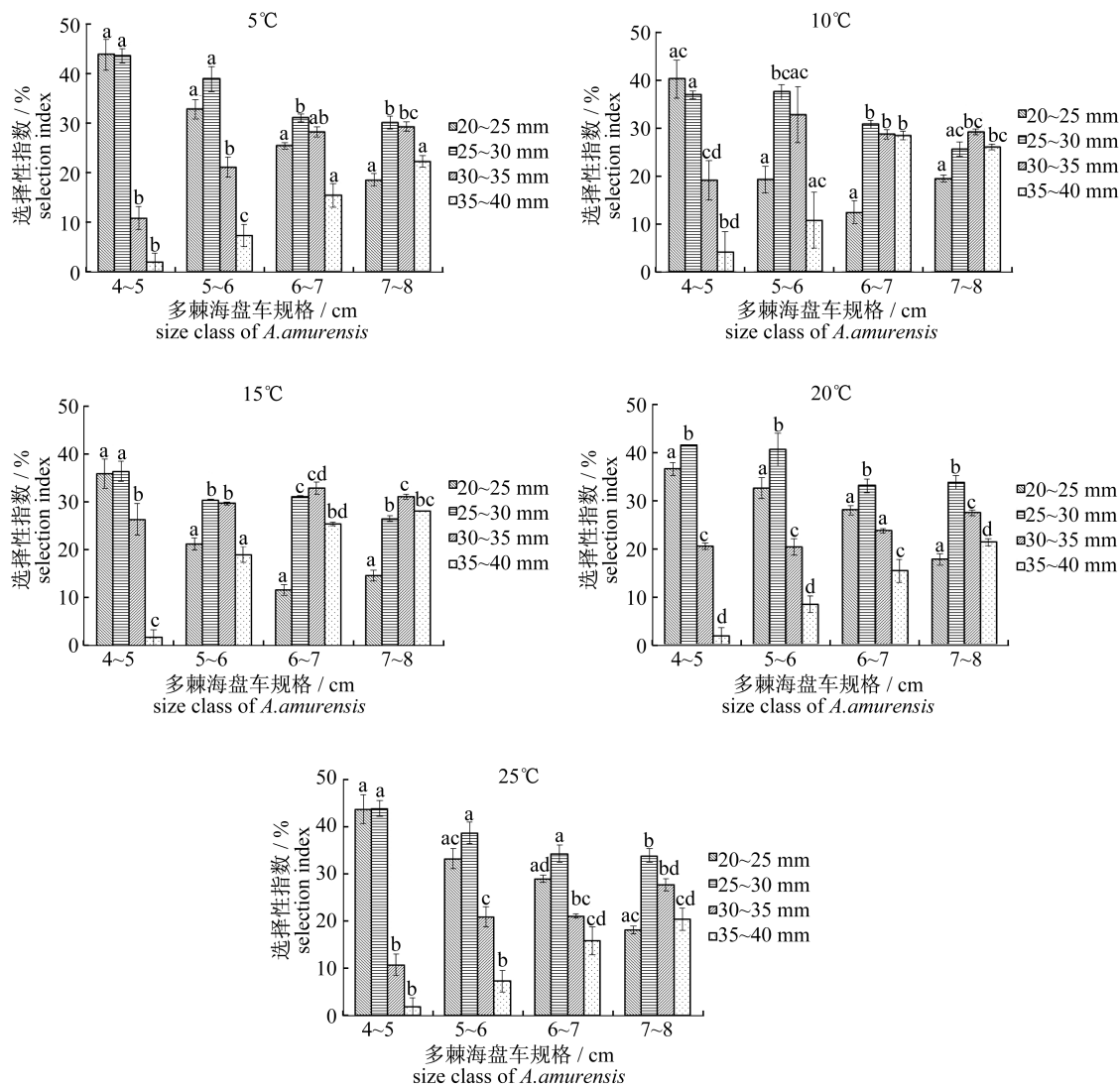


图6 多棘海盘车对菲律宾蛤仔的选择性指数

Fig. 6 Selection indexes of *A. amurensis* when provided with different sizes of clams

数高达 44% 和 43%, 而对 30~35 和 35~40 mm 蛤仔的摄食只有 13%。5~6 cm 多棘海盘车最喜食 25~30 mm 的蛤仔, 其次为 20~25、30~35 和 35~40 mm, 其中 20~25 和 25~30 mm 组差异不显著。6~7 cm 多棘海盘车最喜食 25~30 和 30~35 mm 的蛤仔, 其次为 20~25、35~40。7~8 cm 多棘海盘车对 25~30 和 30~35 mm 蛤仔的摄食选择性指数较其他两种规格的蛤仔高。随多棘海盘车规格增大, 喜食蛤仔的规格越大。在其他温度梯度下, 也呈现类似趋势。

10 与 15 °C 水温条件下多棘海盘车的摄食选择性指数无显著变化, 当温度升至 20 °C 时, 喜食饵料的规格有所下降, 该温度下的多棘海盘车普遍喜食 25~30 mm 的蛤仔。25 与 20 °C 实验组差异不显著。

2.3 摄食量

不同温度下, 实验期间多棘海盘车对菲律宾蛤仔的摄食量如图 7 所示。在 5~20 °C 内, 4~5 cm 海盘车的摄食量随温度升高而增大, 在 20 °C 下达到最大值 0.25 g/d; 5~8 cm 海盘车在不同温度下的摄食量差异显著, 在 15 °C 时达到最大值分别为 0.37 g/d (5~6 cm 多棘海盘车)、0.45 g/d (6~7 cm 多棘海盘车)、0.54 g/d (7~8 cm 多棘海盘车), 水温达到 20 °C 时, 随温度升高摄食量减少。

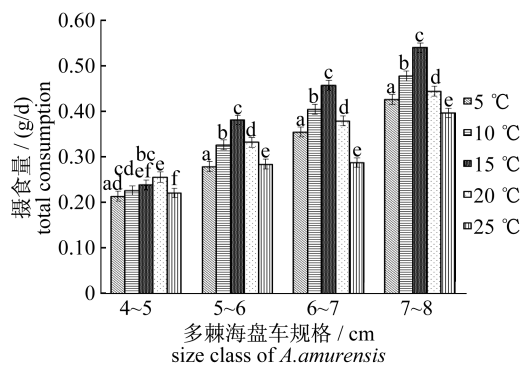


图 7 不同温度下多棘海盘车的摄食量
Fig. 7 Total consumption of *A. amurensis* at different temperatures

2.4 摄食率的昼夜差异

相同温度下海盘车夜间摄食较白天活跃, 且夜间的摄食率显著高于白天。在 5~15 °C 水温内, 海盘车白天的摄食率随温度升高而略有增加, 夜间的摄食率会随温度升高而显著增加, 并在

15 °C 时达到最大值 0.3301 ± 0.0588 , 之后会随温度的升高有所降低 (图 8)。

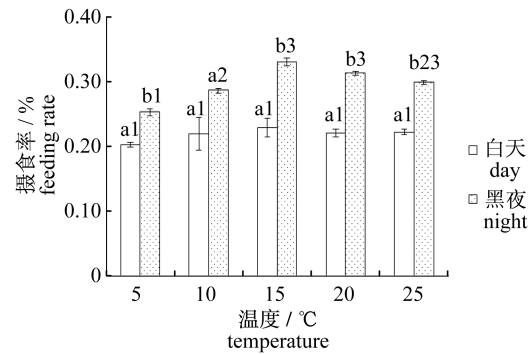


图 8 多棘海盘车摄食率的昼夜差异

字母表示同温下, 白天和黑夜的摄食率差异; 数字表示不同温度下白天或黑夜的摄食率差异; 没有相同字母或数字为差异显著

Fig. 8 Differences of day and night in feeding rate of *A. amurensis*

Values without the same letters (numbers) in the same temperature (day or night) were significantly different from each other

3 讨论

3.1 多棘海盘车对菲律宾蛤仔的选择性摄食

生物在摄食时, 会倾向于选择饵料收益大的个体^[28,41-42]。齐占会等^[39]通过多棘海盘车和海燕 (*Asterina pectinifera*) 对 3 种贝类的摄食研究发现, 其对菲律宾蛤仔的选择指数明显高于贻贝和扇贝。多棘海盘车对太平洋牡蛎、贻贝、菲律宾蛤仔的摄食选择性实验也表明, 在多种饵料共存的情况下, 多棘海盘车喜好摄食菲律宾蛤仔^[37]。分析认为, 动物组织中氨基酸含量是海星捕食的诱因之一, 而菲律宾蛤仔中甘氨酸、谷氨酸等氨基酸含量均高于贻贝与牡蛎^[43]。同时由于菲律宾蛤仔的闭壳肌力量较小, 处理简单, 对多棘海盘车来说是一种摄食能耗低的高收益性饵料。

多棘海盘车食性广泛, 在海洋底栖生态系统中会选择性摄食某种或某几种特定生物, 这种选择性摄食不仅增加了自身生存的机会, 还能调节饵料生物种群数量^[44]。当环境中存在多种饵料时, 捕食者往往表现为选择最有利的种类, 而当环境中只有一种饵料时, 表现为对饵料规格的选择性^[45]。环境因子及自身因素均对海盘车的摄食选择性有一定影响^[23-28]。研究表明, 直径 12 cm

的波罗的海海星可摄食的贻贝壳长大约为 72 mm^[46-47],但赭石海星对紫贻贝的摄食实验发现,其所能捕食饵料的最大规格并不受自身形态的限制^[28]。多棘海盘车捕食贝类时,靠腕上的管足紧紧吸附住贝类的双壳,用拉力将贝壳打开,通过消化液消化贝类的软体部,而贝类是依靠其闭壳肌的力量将双壳紧闭。本实验发现,随蛤仔壳长增加,饵料干重增大,多棘海盘车摄食后可获得的能量收益也会增加。但饵料个体的闭壳肌力量会随个体增大而增大,多棘海盘车会因开壳时间的延长,消耗更多的能量,使其整体饵料收益下降。大规格海盘车的摄食时间会随蛤仔规格增加而增加(图 1),但差异不显著,说明其具有足够的开壳力,本实验所用蛤仔规格未对其摄食产生约束。但小规格(4~5 cm)海盘车的摄食时间随饵料规格的增加差异显著,壳长 30~35 和 35~40 mm 蛤仔的摄食时间较 20~25 mm 的蛤仔增加了 3~4 倍,导致其饵料收益率迅速下降(图 2)。

多棘海盘车所能摄食的贝类大小与其辐径成正相关^[48]。根据饵料收益率分析(表 2)和选择性指数(图 6),得出多棘海盘车在摄食菲律宾蛤仔时受自身个体大小的限制。根据实验所得的饵料收益模型可知,4~5、5~6、6~7 和 7~8 cm 的 4 种规格多棘海盘车分别在摄食 20、23、30 和 35 mm 蛤仔时的饵料收益率最大,收益率分别为 0.62、0.70、0.83 和 0.94 mg/min,与室内实验的实测值(图 6)近似,验证了随捕食者规格增大,其对饵料的选择规格也增加,以获取能量收益的最大化。

3.2 温度对多棘海盘车摄食的影响

温度是影响海洋生物新陈代谢及各种生命活动的重要环境因子^[49]。一定温度范围内,有机体的生理活动会随温度升高变得活跃^[50]。海盘车的摄食受温度影响显著^[25-26],异色海盘车捕食幼体扇贝的实验发现,4 和 8 °C 时海盘车的捕食速率差异不显著,但 15 °C 时海盘车的捕食速率显著高于前二者^[51]。福氏海盘车^[2]夏季摄食比冬季活跃,异色海盘车^[52]的摄食集中在春季和秋季。多棘海盘车和海燕对贝类的捕食强度均随着温度(4.3~13.3 °C)的升高而增加^[39]。在本实验设定的温度条件(5~25 °C)下,温度对饵料收益率的影响不显著(表 3),因此温度对摄食的影响是由于温度升高,多棘海盘车代谢活动增加,用于维持

生命活动的能量增加,导致食物摄入量增大,耗能增加。但当温度达到 20 °C 时,多棘海盘车喜好摄食的饵料规格变小,由此推断多棘海盘车的最适摄食温度应在 15 °C 左右,当温度高于 15 °C 时,多棘海盘车会为适应高温环境能耗增加,导致活性降低,用于摄食的能量减少,此时多选择摄食耗能少的小规格饵料。

3.3 多棘海盘车的危害性

研究发现 3—7 月是青岛近海多棘海盘车活动的适温期,6—7 月捕食活动频繁,高温时活力下降,8 月中旬捕食量开始减少,10 月下旬有再次增加的趋势^[33]。海星虽然摄食率较高,但由于饵料转化效率较低,摄食饵料仅有 0~5.7% 能够被吸收消化^[22],从而导致海星的捕食量巨大,对资源破坏性较高。海星易大暴发的季节为 4—7 月,根据 2012 年青岛近海水温数据(<http://ocean.qingdao.gov.cn>),此时水温为 10~20 °C,以本实验所得摄食量的数据推算,仅 4~8 cm 的 100 只多棘海盘车一个月内(30 d)就可吃掉近万只菲律宾蛤仔(被吃掉蛤仔的数量 = $(0.37 \text{ g/d} \times 100 \times 30) / 0.125 \text{ g}$, 0.37 g/d 为一只多棘海盘车的平均摄食量,0.125 g 为蛤仔的平均干重),会给浅海贝类增殖业造成极大损失。

综上所述,多棘海盘车在摄食菲律宾蛤仔时,会受温度、自身规格及蛤仔规格的影响。多棘海盘车规格及饵料规格对饵料收益率影响显著;随多棘海盘车规格的增大,所喜好摄食的饵料规格增大,以此获取最大能量收益。在 5~15 °C 内,多棘海盘车的摄食量会随温度升高而增加,15 °C 为海盘车摄食蛤仔的最适水温。青岛近海 5—6 月份是海星易暴发时期,应加强对海星的防治与清除。

参考文献:

- [1] Yang D J, Sun S C. Marine invertebrate zoology [M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2005: 547-563. [杨德渐,孙世春.海洋无脊椎动物学.青岛:中国海洋大学出版社,2005:547-563.]
- [2] Galtsoff P S, Loosanoff V L. Natural history and method of controlling the starfish (*Asterias forbesi*, Desor) [M]. US: US Government Printing Office, 1939: 75-132.
- [3] Needler A W H. Oyster farming in eastern Canada [M]. Canada: Fisheries research board of Canada,

- 1941;60-83.
- [4] Tokeshi M. Extraoral and intraoral feeding; Flexible foraging tactics in the South American sun-star *Heliaster helianthus* [J]. *Journal of Zoology*, 1991, 225(3):439-447.
- [5] Tokeshi M, Romero L. Quantitative analysis of foraging behaviour in a field population of the South American sun-star *Heliaster helianthus* [J]. *Marine Biology*, 1995, 122(2):297-303.
- [6] Prescott C R. Sources of predatory mortality in the bay scallop *Argopecten irradians* (Lamarck): Interactions with seagrass and epibiotic coverage [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1990, 144(1):63-83.
- [7] Christensen A M. The Feeding Behavior of the Seastar *Evasterias troschelii* Stimpson [J]. *Limnology and Oceanography*, 1957, 2(3):180-197.
- [8] Lee C F. Technological studies of the starfish [J]. United States Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, 1951, 391:1-47.
- [9] Himmelman J H, Dutil C, Gaymer C F. Foraging behavior and activity budgets of sea stars on a subtidal sediment bottom community [J]. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 2005, 322(2):153-165.
- [10] Kim Y S. An observation on the opening bivalve molluscs by starfish, *Asterias amurensis* [J]. *Bulletin of the faculty of fisheries Hokkaido university*, 1969, 20(2):60-63.
- [11] Tamura T, Fuji A, Tanaka S, et al. Injurious effects of the starfish on shellfishes [J]. *Hokusuishi Geppo*, 1956, 13(6):25-28.
- [12] Ramsay K, Bergmann M, Veale L O, et al. Damage, autotomy and arm regeneration in starfish caught by towed demersal fishing gears [J]. *Marine Biology*, 2001, 138(3):527-536.
- [13] Feder H M. On the methods used by the starfish *Pisaster ochraceus* in opening three types of bivalve mollusks [J]. *Ecology*, 1955, 36(4):764-767.
- [14] Nadeau M, Barbeau M A, Brêthes J C. Behavioural mechanisms of sea stars (*Asterias vulgaris* Verrill and *Leptasterias polaris* Müller) and crabs (*Cancer irroratus* Say and *Hyas araneus* Linnaeus) preying on juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus* Gmelin), and procedural effects of scallop tethering [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2009, 374(2):134-143.
- [15] Reese A M. The old starfish-clam question [J]. *Science*, 1942, 96(2501):513-515.
- [16] Bremigan M T, Stein R A. Gape-dependent larval foraging and zooplankton size: Implications for fish recruitment across systems [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1994, 51(4):913-922.
- [17] Lu J Q, Zhang Z B. Predation risk and its impact on animal foraging behavior [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(2):66-72. [路纪琪, 张知彬. 捕食风险及其对动物觅食行为的影响. *生态学杂志*, 2004, 23(2):66-72.]
- [18] Shang Y C. Foraging behavior of animals [J]. *Bulletin of Biology*, 2001, 36(2):13-14. [尚玉昌. 动物的捕食行为. *生物学通报*, 2001, 36(2):13-14.]
- [19] Brousseau D J, Baglivo F A. Laboratory investigations of the effects of predator sex and size on prey selection by the Asian crab, *Hemigrapsus sanguineus* [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2001, 262(2):199-210.
- [20] Smallegange I M, van der Meer J. Why do shore crabs not prefer the most profitable mussels [J]. *Journal of Animal Ecology*, 2003, 72(4):599-607.
- [21] Johnstone I, Norris K. Not all oystercatchers *Haematopus ostralegus* select the most profitable common cockles *Cerastoderma edule*: A difference between feeding methods [J]. *Ardea*, 2000, 88(2):137-153.
- [22] Hummel C, Honkoop P, van der Meer J. Small is profitable: No support for the optimal foraging theory in sea stars *Asterias rubens* foraging on the blue edible mussel *Mytilus edulis* [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2011, 94(1):89-92.
- [23] Birkeland C, Lucas J S. *Acanthaster planci*: Major management problem of coral reefs [M]. Boca Raton: CRC Press, 1990:257.
- [24] Sarantchova O L. Research into tolerance for the environment salinity in sea star fish *Asterias rubens* L. from populations of the White Sea and Barentz Sea [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2001, 264(1):15-28.
- [25] Mackenzie Jr C L. Feeding rates of starfish, *Asterias forbesi* (Desor), at controlled water temperatures and during different seasons of the year [J]. *Fishery Bulletin*, 1969, 68(1):67-72.
- [26] Hatanaka M, Kosaka M. Biological studies on the population of the starfish, *Asterias amurensis*, in

- Sendai Bay [J]. *Tohoku Journal of Agricultural Research*, 1959, 9(3): 159 - 178.
- [27] Pyke W E. Optimal foraging theory: A critical review [J]. *Animal Review of Ecology and Systematics*, 1984, 1(15): 523 - 575.
- [28] Schoener T W. Theory of feeding strategies [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1971, 2(1): 69 - 404.
- [29] Xu J W, Zhang T M, Guo Z M, *et al.* Study on the comprehensive use of sea star [J]. *Shandong Fisheries*, 1995, 12(1): 38 - 41. [徐均望, 张天明, 郭占明, 等. 海星综合利用的研究. *齐鲁渔业*, 1995, 12(1): 38 - 41.]
- [30] Lockhart S J, Ritz D A, Lockhart S J, *et al.* Preliminary observations of the feeding periodicity and selectivity of the introduced sea star, *Asterias amurensis* (Littken) [C]. *Tasmania, Australia: Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania*, 2001, 135: 25 - 33.
- [31] Byrne M, Morrice M G, Wolf B. Introduction of the northern Pacific asteroid *Asterias amurensis* to Tasmania: Reproduction and current distribution [J]. *Marine Biology*, 1997, 127(4): 673 - 685.
- [32] Qi Q Z. The life history of the clam (*Ruditapes philippinarum*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1987, 11(2): 111 - 118. [齐秋贞. 菲律宾蛤仔的生活史. *水产学报*, 1987, 11(2): 111 - 118.]
- [33] Zhou S H, Wang Y G. Introspection of starfish disaster in coastal waters [J]. *Fisheries Science*, 2008, 27(10): 555 - 556. [周书珩, 王印庚. 近海水域海星泛滥引起的反思. *水产科学*, 2008, 27(10): 555 - 556.]
- [34] Hao L H, Li B F. Studies on nutritional components from *Asterias amurensis* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1998, 22(4): 385 - 388. [郝林华, 李八方. 多棘海盘车营养成分的研究 [J]. *水产学报*, 1998, 22(4): 385 - 388.]
- [35] Zhou P, Gu Q Q, Wang C Y. Survey of studies on starfish saponins and the other bioactive substances [J]. *Marine Journal*, 2000, 24(2): 35 - 37. [周鹏, 顾谦群, 王长云. 海星皂甙及其他活性成分研究概况. *海洋科学*, 2000, 24(2): 35 - 37.]
- [36] Cheng P, Tang H, Piao S J, *et al.* Study on chemical constituents of starfish *Asterias amurensis* [J]. *Academic Journal of Second Military Medical University*, 2008, 29(12): 1479 - 1482. [程萍, 汤华, 朴淑娟, 等. 多棘海盘车的化学成分. *第二军医大学学报*, 2008, 29(12): 1479 - 1482.]
- [37] Liu J, Zhang X M. Study on the prey selection of sea stars (*Asterias amurensis*) preying on juvenile oysters (*Crassostrea gigas*), mussels (*Mytilus edulis*) and clams (*Ruditapes philippinarum*) [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2012, 42(7-8): 98 - 105. [刘佳, 张秀梅. 多棘海盘车对太平洋牡蛎、紫贻贝、菲律宾蛤仔摄食选择性的研究. *中国海洋大学学报*, 2012, 42(7-8): 98 - 105.]
- [38] Du M R, Fang J G, Zhang J H, *et al.* Feeding rate and food preference of *Asterias amurensis* on four species of bivalves [J]. *Fishery Modernization*, 2012, 39(2): 25 - 29. [杜美荣, 方建光, 张继红, 等. 多棘海盘车对四种贝类摄食率和选择性的初步研究. *渔业现代化*, 2012, 39(2): 25 - 29.]
- [39] Qi Z H, Wang J, Mao Y Z, *et al.* Prey selection and feeding rate of sea stars *Asterias amurensis* and *Asterina pectinifera* on three bivalves [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(16): 4878 - 4884. [齐占会, 王珺, 毛玉泽, 等. 两种海星对三种双壳贝类的捕食选择性和摄食率. *生态学报*, 2013, 33(16): 4878 - 4884.]
- [40] Chesson J. Measuring preference in selective predation [J]. *Ecology*, 1978, 59(2): 211 - 215.
- [41] Elner R W, Hughes R N. Energy maximization in the diet of the shore crabs, *Carcinus aenas* [J]. *The Journal of Animal Ecology*, 1978, 47(1): 103 - 107.
- [42] Luo M Z, Wu X P, Zhang T L, *et al.* Effect of prey fish size on predation of snakehead (*Channa argus*) [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2009, 28(6): 726 - 730. [罗鸣钟, 吴小平, 张堂林, 等. 饵料鱼大小对乌鳢捕食的影响. *华中农业大学学报*, 2009, 28(6): 726 - 730.]
- [43] Liu J, Zhang X M, Kang L T, *et al.* Behavioural and metabolic responses of the North Pacific sea star *Asterias amurensis* to chemical stimuli of different concentration [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2012, 19(6): 978 - 988. [刘佳, 张秀梅, 康乐天, 等. 不同浓度化学刺激物对多棘海盘车摄食行为及呼吸代谢的影响. *中国水产科学*, 2012, 19(6): 978 - 988.]
- [44] Barkai A, Mcquaid C. Predator-prey role reversal in a marine benthic ecosystem [J]. *Science*, 1988, 242(4875): 62 - 64.
- [45] Hughes R N. Optimal foraging theory in the marine context [J]. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 1980, 18: 423 - 481.
- [46] Sommer U, Meusel B, Stielau C. An experimental analysis of the importance of body-size in the seastar-

- mussel predator-prey relationship [J]. *Acta Oecologica*, 1999, 20(2): 81 - 86.
- [47] Anger K, Rogal U, Schriever G, *et al.* In situ investigations on the echinoderm *Asterias rubens* as a predator of soft-bottom communities in the western Baltic Sea [J]. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 1977, 29(4): 439 - 459.
- [48] Turner E. A northern Pacific seastar, *Asterias amurensis*, in Tasmania [J]. *Tasmania AMSA Bulletin*, 1992, 120(9): 18 - 19.
- [49] Xu H L, Liu H Y, Lin Y J. Effect of temperature and salinity on respiration of mantis shrimp (*Oratosquilla oratoria*) [J]. *Fishery Sciences*, 2008, 27(9): 443 - 446. [徐海龙, 刘海映, 林月娇. 温度和盐度对口虾蛄呼吸的影响. *水产科学*, 2008, 27(9): 443 - 446.]
- [50] Newell R C, Branch G M. The influence of temperature on the maintenance of metabolic energy balance in marine vertebrates [J]. *Advances in Marine Biology*, 1980, 17: 329 - 396.
- [51] Barbeau M A, Scheibling R E. Temperature effects on predation of juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus* Gmelin) by sea stars (*Asterias vulgaris* Verrill) and crabs (*Cancer irroratus* Say) [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1994, 182(1): 27 - 47.
- [52] Billett D S M, Bett B J, Evans R, *et al.* The reproductive ecology of deep-sea ophiuroids around the Crozet Plateau, southern Indian Ocean, under contrasting productivity regimes [J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2013, 92: 18 - 29.

Selection of *Asterias amurensis* feeding on *Ruditapes philippinarum* at different temperatures

LI Shuyun, ZHANG Xiumei*, NIE Meng, LI Wentao, ZHANG Peidong

(College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: The present study explored the *Asterias amurensis* (4 - 8 cm) selective feeding on *Ruditapes philippinarum* (20 - 40 mm) at different temperatures (5, 10, 15, 20, 25 °C) in laboratory conditions. The prey profitability, prey size selectivity, total consumption and feeding rate were used to analyse the effects of temperature, predator size and prey size on selective feeding of *A. amurensis*. Results showed that prey profitability were significantly affected by both the predator size and prey size ($P < 0.0001$). No significant effects of temperature on the prey profitability were observed ($P = 1.0000$). According to prey profitability model, four kinds of *A. amurensis* got maximum when they fed on those preys by 20, 23, 30 mm and 35 mm respectively. The values were 0.62, 0.70, 0.83 and 0.94 mg/min. The predictions were in accordance with experimental results. Within temperature range from 5 to 15 degrees and *A. amurensis* from 5 to 8 cm, the prey consumption increased as the temperature went up, and reached the maximum consumption at 15 °C, which was the optimal temperature for *A. amurensis*. The values were 0.37, 0.45 and 0.54 g/d. The prey consumption decreased with the increase of temperature when higher than 15 °C. Significantly higher feeding rate was observed by day than at night. It's concluded that in May and June, the temperature of Qingdao was the suitable for the reproduction of *R. philippinarum* and the most suitable for *A. amurensis*'s feeding and growth. Therefore, the prevention and clearing of starfish should be reinforced.

Key words: *Asterias amurensis*; *Ruditapes philippinarum*; temperature; size; feeding selectivity

Corresponding author: ZHANG Xiumei. E-mail: gaozhang@ouc.edu.cn