

豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食效应

王小军¹, 储张杰^{1*}, Babacar Diakhate¹, 黄涛¹, 唐舟凯¹,
何竺柳¹, 鲍华江¹, 赵波¹, 高阳¹, 胡秀峰², 贾兴鲁²

(1. 浙江海洋大学水产学院, 浙江舟山 316022;

2. 舟山台岛鳅业有限公司, 浙江舟山 316013)

摘要: 为获知豆娘幼虫捕食对泥鳅幼体培育存活率的影响, 采用捕食者与猎物间捕食效应的研究方法, 研究了豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食作用。结果显示: ①豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食功能反应属于Holling-II型。豆娘幼虫对泥鳅幼体的瞬间攻击力 a' 、日最大捕食量 $1/T_h$ 随泥鳅幼体日龄的增加而降低, 捕食量随着猎物密度的增加而增加; ②豆娘幼虫规格不同对泥鳅幼体捕食效应存在显著差异, 体长为(16.32±0.24)、(13.18±0.32)、(9.86±0.28)和(5.82±0.36) mm的4种规格豆娘幼虫对3日龄泥鳅幼体的瞬间攻击力和日最大捕食量分别为0.8349、0.5724、0.2002、0.0432和27.39、18.99、9.49、3.14条; ③随着豆娘幼虫密度的增加, 个体之间相互干扰, 致使单个豆娘幼虫寻找猎物的时间减少, 种内竞争条件下的捕食作用率(E)与自身密度(P)的函数关系式为 $E = 0.1403 \times P^{-0.2361}$; ④随着泥鳅幼体和豆娘幼虫密度的增加, 干扰作用明显增大, 捕食作用率 E 下降, 但对其捕食量影响不大, 种间相互干扰反应模型为 $Na = \frac{0.7841 \times P^{-0.1560} \times N}{1 + 0.0305 \times N}$ 。研究表明, 豆娘幼虫能大量捕食泥鳅幼体, 是影响泥鳅幼体培育存活率的重要敌害生物。

关键词: 豆娘; 泥鳅; 幼体; 捕食效应

中图分类号: S 943; S 966.4

文献标志码: A

泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)是在我国广泛分布的杂食性淡水鱼类。其肉质鲜嫩, 营养丰富, 素有“水中人参”之美誉。随着人们对泥鳅营养价值的认识, 导致野生泥鳅的捕捞量不断增加, 加上水环境污染严重, 目前我国野生泥鳅产量逐年下降, 因此单纯依靠野生泥鳅产量已不能满足市场需求。在市场需求不断增加的刺激下, 近年来国内掀起了养殖泥鳅的热潮, 尤其在广东、浙江等地发展迅速。泥鳅已成为常见的养殖品种之一^[1]。

然而, 泥鳅人工养殖一片火热的态势与苗种人工培育成活率低下现状形成了十分强烈的反差。在探寻并试图解决苗种培育成活率低下这一科学技术难题的过程中, 绝大多数研究者将重心集中在泥鳅生物学、生长、胚胎发育、

开口饵料等方面, 然而, 效果并不理想, 苗种培育成活率仍停留在5%~10%的较低水平。

种间捕食是自然界中普遍存在的一种种间相互作用形式^[2]。泥鳅幼体培育中, 将面临诸如蛙类、蝌蚪、水生昆虫及其幼虫、蛇类、鸟类等众多敌害生物的种间捕食威胁。经过大量观察发现, 众多敌害生物中, 豆娘(*Ischnura heterosticta*)幼虫才是导致泥鳅幼体培育成活率低甚至绝育的关键因素。目前, 国内外有关捕食效应的研究多见于经济作物敌害生物的防治^[3-5], 然而, 有关敌害生物对泥鳅捕食效应的研究尚未见报道。鉴于此, 本实验团队开展了豆娘幼虫对泥鳅幼体捕食效应的研究, 通过建立捕食效应模型, 以期对泥鳅幼体培育中对敌害生物的防控提供依据, 从而提高泥鳅幼体培育成活率。

收稿日期: 2015-12-24 修回日期: 2016-08-03

资助项目: 国家星火计划项目(2014GA700123)

通信作者: 储张杰, E-mail: czj0501@sina.com

1 材料与方 法

1.1 实验材料

泥鳅幼体 泥鳅幼体来自浙江舟山台岛鳅业有限公司人工繁殖个体。将获得的泥鳅幼体按照不同日龄分别放于不同塑料桶内, 充气培养, 期间每日早晚各投喂1次, 日投喂量为体质量的3%~5%。实验时选取形体完整、无伤病的健壮个体作为对象。实验泥鳅幼体分为3、6、9、12、15、18、21共7种日龄规格(表1)。

表 1 实验泥鳅幼体规格

泥鳅幼体日龄/d daily age of <i>M. anguillicaudatus</i> larvae	体长/mm body lengths
3	4.54±0.04
6	5.48±0.28
9	7.22±0.14
12	10.94±0.62
15	14.88±0.32
18	17.56±0.58
21	22.92±0.86

豆娘幼虫 豆娘幼虫直接采自舟山台岛鳅业有限公司养殖基地附近的水塘中, 将采回的豆娘幼虫按大小规格的不同分别放于不同的小水盘中, 用泥鳅幼苗饲喂。实验前饱食1顿后再禁食24 h, 待其排空体内食物后, 选取其中形体完整、反应灵敏、无伤病的健壮个体作为实验对象。实验豆娘幼虫按体长依次分为A(16.32±0.24) mm、B(13.18±0.32) mm、C(9.86±0.28) mm和D(5.82±0.36) mm 4种规格。

实验条件 整个实验在室内自然温、湿度下进行, 水温26.3~28.5°C, 实验容器分为I型(直径12 cm的培养皿)和II型(长25 cm×宽15 cm×高10 cm的小水盘)两种, 分别用于不同的实验, 实验过程中, 上方均用筛绢网(长50 cm×宽30 cm×高20 cm)罩住。实验用水为经48 h自然曝气的自来水。

1.2 实验方法

捕食者对猎物密度的捕食功能反应 选取3、6、9、12、15、18、21日龄泥鳅幼体, 每种

日龄规格分别设置数量梯度为30、40、50、60、70条, 置于实验容器I中, 每个实验容器放入A规格豆娘幼虫1条, 24 h后观察记录各实验容器中剩余泥鳅幼体的数量。各组重复处理5次。

豆娘幼虫对泥鳅幼体的功能反应采取Holling圆盘方程^[6] $Na = \frac{a' \times T \times N}{1 + a' \times T_h \times N}$ 进行拟合, 式中: Na 为捕食量(条), a' 为瞬间攻击率, T 为实验时间(d), N 为猎物数量(条), T_h 为捕食1只猎物所需时间(d)。

捕食者规格对猎物的捕食功能反应 选取A、B、C、D 4种不同大小规格的豆娘幼虫分别与3日龄泥鳅幼体按30、40、50、60、70条数量组合, 置于实验容器I中, 24 h后观察记录各实验容器中剩余泥鳅幼体的数量。各组重复处理5次。

豆娘幼虫规格对泥鳅幼体的功能反应同样采取Holling圆盘方程进行拟合。

捕食者间种内相互干扰试验 每组取3日龄泥鳅幼体120条于实验容器II中, 选取A规格豆娘幼虫并按数量梯度1、2、3、4、5条分别置于不同实验容器内, 观察豆娘幼虫个体间的相互干扰情况, 24 h后观察记录每只水盘中剩余泥鳅幼体的数量。每组重复处理5次。

豆娘幼虫种内干扰的功能反应用Hassell等^[7]提出的模型 $E=QP^m$ 来描述, 式中 E 表示捕食作用率, Q 为搜索系数, m 为干扰系数, P 为捕食者密度。

捕食者与猎物的种间相互干扰实验 选取3日龄泥鳅幼体设30、60、90、120、150条5种数量梯度, 分别与A规格豆娘幼虫1、2、3、4、5条组合并置于实验容器II中, 每组重复处理5次, 24 h后观察记录每组中剩余泥鳅幼体的数量。

豆娘幼虫间对泥鳅幼体捕食的相互干扰作用可用模型 $Na = \frac{a' \times d \times P^{1-m} \times N}{1 + a' \times T_h \times N}$ 来描述, 其中 d 为常数^[7]。

1.3 数据处理

实验数据采用SPSS 19.0软件和Excel 2010进行统计分析, 结果用平均值±标准差(mean±SE)表示, 经单因子方差分析(ANOVA)后采用Duncan's s多重比较检验实验数据的显著性, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食功能反应

观察发现, 豆娘幼虫在捕食泥鳅幼体的过程中, 先是伏在水底慢慢靠近泥鳅幼体, 并伴有尾鳃左右缓慢摆动, 待接近泥鳅幼体时, 尾鳃停止摆动并迅速弹出下颚捕捉猎物, 一般从泥鳅幼体尾部攻击。结果表明, 豆娘幼虫对泥鳅幼体的瞬间攻击力 a' 、日最大捕食量 $1/T_h$ 随幼体日龄的增加而降低, 在实验期间, 达到21日龄的泥鳅幼体[体长(22.92±0.86) mm]未发现遭到豆娘幼虫捕食。这些参数表明, 豆娘幼虫对泥鳅幼体的瞬间攻击力(表2)。从表2可以看出, χ^2 均远小于 $\chi_{0.05}^2$, 吻合性很好, 说明这些功能反应模型能够反映豆娘幼虫在不同猎物密度下的捕食变化规律。在实验设置的密度范围内, 随着猎物密度的增加, 豆娘幼虫的捕食量也随之增加。分析发现, 在所选实验泥鳅幼体的日龄范围内, 豆娘幼虫对各日龄间泥鳅幼体的捕食量存在显著性差异, 但是各日龄组内, 因密度改变所带来的捕食量变化呈现出低日龄组差异显著而高日龄组无显著性差异的特点。

2.2 豆娘幼虫不同规格对泥鳅幼体的捕食功能反应

豆娘幼虫对泥鳅幼体的瞬间攻击力 a' 、日最大捕食量 $1/T_h$ 随其规格的减小而降低, 其中A规格的瞬间攻击力最大, 为0.8349, 捕食1只猎物所需时间为0.0365 d; D的瞬间攻击力最小, 为0.0432, 捕食1只猎物所需时间为0.3186 d。 χ^2 均远小于 $\chi_{0.05}^2$, 说明这些功能反应模型能够反映不同大小规格的豆娘幼虫对猎物的捕食变化规律。在实验设置的密度范围内, 不同规格豆娘幼虫的捕食量均随猎物密度的增加而增加。对表3数据进行统计分析发现, A、B、C、D 4种规格豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食呈现显著性差异, 且捕食量逐渐下降; 而同规格豆娘幼虫之间因泥鳅幼体密度不同引起的捕食差异呈现出A、B明显, C、D不明显的特点, 且明显程度A>B(图1, 表3)。

2.3 豆娘幼虫种内相互干扰对泥鳅幼体捕食功能反应的影响

豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食量与自身密度

有密切的关系(表4)。随着捕食者密度的增加, 捕食者之间相互干扰, 致使单个捕食者寻找猎物的时间减少。实验结果经模拟得出 $E=0.1403 \times P^{-0.2361}$ 。将理论值与实验值比较, 并经 χ^2 检验后, 误差不显著($\chi^2 < \chi_{0.05}^2$), 说明方程能很好地描述豆娘幼虫种内相互干扰对泥鳅幼体的捕食功能反应, 表明捕食作用率随豆娘幼虫自身密度的增加而下降。豆娘幼虫自身密度的变化对泥鳅幼体的捕食呈现三个梯度的差异, 即无干扰(豆娘幼虫密度为1只)、低密度干扰(豆娘幼虫密度为2、3、4只)和高密度干扰(豆娘幼虫密度为5只), 三者之间呈现显著性差异, 而低密度干扰组间差异不明显(表4)。

2.4 豆娘幼虫与泥鳅幼体相互干扰的影响

通过干扰反应试验测定在不同泥鳅幼体密度、不同豆娘幼虫数量下, 豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食量, 得出豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食功能模型为 $Na = \frac{0.7841 \times P^{-0.1560} \times N}{1 + 0.0305 \times N}$ (表5)。结果显示, 随着泥鳅幼体和豆娘幼虫密度的增加, 豆娘幼虫种内相互干扰作用明显增大, 捕食作用率 E 下降。经 χ^2 检验($\chi^2 < \chi_{0.05}^2$), 表明上述模型与实测数据能很好地进行拟合。

3 讨论

豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食功能反应符合Holling圆盘方程II型(表2, 表3)。在一定泥鳅幼体的密度范围内, 捕食量随泥鳅幼体密度的增加而增大, 当猎物密度增加到一定值后, 捕食量的增加速率逐渐减小, 并维持一定水平。邹运鼎等^[8]研究认为, 由于天敌的胃容量有限, 因此存在日最大捕食量, 本研究中豆娘幼虫对3、6、9、12、15、18日龄泥鳅幼体的日最大捕食量分别为27.39、20.65、16.68、11.45、7.27和2.32尾。王伟定等^[9]研究缢蛭(*Sinonovacula constricta*)对运动性微藻的滤食效应表明, 随着运动性微藻个体规格的增大和运动能力的增强, 其在空间中散布的无序性和离散程度也就明显增大, 致使被滤食随机性进一步减弱。在本实验中, 随着泥鳅幼体日龄的增加, 体长增长明显, 其活动能力也明显加强, 在空间中散布的无序性和离散程度增大, 致使泥鳅幼体逃避天敌捕食的能力随之增加, 被捕食的几率降低, 当泥鳅幼体达到21日龄[体长(22.92±0.86) mm]时, 未发

表 2 豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食功能参数

Tab. 2 Preying functional parameters of *I. heterosticta* larvae on *M. anguillicaudatus* larvae

泥鳅幼体日龄/d daily age of <i>M. anguillicaudatus</i> larvae	泥鳅幼体数量(N)/条 density of <i>M. anguillicaudatus</i> larvae	单位面积泥鳅密 度/(条/m ²) density	Na±SE/条	a'	1/T _h	T _h /d	捕食作用模型 models of predation	χ ²
3	30	663	13.4±1.1401 ^a	0.8349	27.39	0.0365	$Na = \frac{0.8349 \times N}{1+0.0305 \times N}$	0.0841
	40	884	14.6±2.3021 ^{ab}					
	50	1105	15.8±1.9235 ^b					
	60	1327	18.2±1.3038 ^c					
	70	1548	19.2±1.3038 ^c					
6	30	663	9.2±1.0954 ^a	0.5694	20.65	0.0484	$Na = \frac{0.5694 \times N}{1+0.0276 \times N}$	0.0184
	40	884	11.2±1.7889 ^{ab}					
	50	1105	12.0±1.8708 ^b					
	60	1327	12.8±1.9235 ^b					
	70	1548	13.4±1.1401 ^b					
9	30	663	5.8±2.2803 ^a	0.2926	16.68	0.0599	$Na = \frac{0.2926 \times N}{1+0.0175 \times N}$	0.0371
	40	884	6.6±2.0736 ^{ab}					
	50	1105	8.2±1.6432 ^{ab}					
	60	1327	8.6±1.5166 ^b					
	70	1548	9.0±1.7321 ^b					
12	30	663	3.2±1.4832 ^a	0.1504	11.45	0.0873	$Na = \frac{0.1504 \times N}{1+0.0131 \times N}$	0.3081
	40	884	4.4±1.1402 ^{ab}					
	50	1105	4.0±1.5811 ^a					
	60	1327	4.6±1.3416 ^{ab}					
	70	1548	6.4±2.3022 ^b					
15	30	663	2.8±1.9235 ^a	0.1483	7.27	0.1375	$Na = \frac{0.1483 \times N}{1+0.0204 \times N}$	0.0069
	40	884	3.2±1.6432 ^a					
	50	1105	3.6±1.5166 ^a					
	60	1327	4.0±1.8708 ^a					
	70	1548	4.4±1.3416 ^a					
18	30	663	0.6±0.5477 ^a	0.0247	2.32	0.4319	$Na = \frac{0.0247 \times N}{1+0.0107 \times N}$	0.0256
	40	884	0.6±0.8944 ^a					
	50	1105	0.8±0.8367 ^a					
	60	1327	1.0±0.7071 ^a					
	70	1548	1.0±0.7071 ^a					

注: 同日龄组内数据上标字母完全不同表示差异显著($P < 0.05$)

Notes: in the same age group, values with completely different superscripts mean significant difference ($P < 0.05$)

现被豆娘幼虫捕食的现象。

A、B、C、D 4种规格豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食呈现显著性差异(图1, 表3)。造成这种结

果的可能原因: ①与猎物个体的增大而逃避被捕食的能力增强类似, 当捕食者的个体增大时, 其活动能力也随之增强, 捕获猎物的能力更

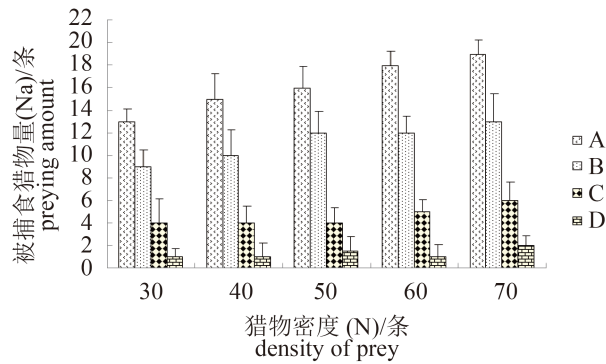


图 1 豆娘幼虫不同规格对泥鳅幼体的捕食功能反应

Fig. 1 Functional response of different sizes of *I. heterosticta* larvae to *M. anguillicaudatus* larvae

大；②豆娘属于半变态发育，其幼虫口器构造特殊，下唇亚颏及颏极长，二者连接处成一关节，形成可屈伸的特化的面罩，不用时面罩折叠于头、胸部之下，捕猎时突然向前伸出，用1对下唇须抓住猎物。下唇须感受器与食物选择和调节取食活动有非常密切的关系，感受器的不同种类和数量，分别决定其不同的感受功能^[10-12]，基于此，认为在豆娘幼虫的发育过程中，下唇须感受器的数量和种类可能不断发生变化，增强了其捕食猎物的灵敏度和精准度，但豆娘幼虫下唇须感受器的变化与捕食活动的关系有待进一步研究。

严英俊等^[13]研究表明，随着捕食者自身密

表 3 不同规格豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食功能参数

Tab. 3 Preying functional parameters of different sizes of *I. heterosticta* larvae on *M. anguillicaudatus* larvae

豆娘幼虫规格 size of <i>I. heterosticta</i> larvae	泥鳅幼体数量(N)/条 density of <i>M. anguillicaudatus</i> larvae	单位面积泥鳅 密度/(条/m ²) density	Na ±SE/条	a'	1/T _h	T _h /d	捕食作用模型 models of predation	χ ²
A	30	663	13.4±1.1401 ^a	0.8349	27.39	0.0365	$Na = \frac{0.8349 \times N}{1 + 0.0305 \times N}$	0.0841
	40	884	14.6±2.3021 ^{ab}					
	50	1105	15.8±1.9235 ^b					
	60	1327	18.2±1.3038 ^c					
	70	1548	19.2±1.3038 ^c					
B	30	663	9.2±1.4832 ^a	0.5724	18.99	0.0527	$Na = \frac{0.5724 \times N}{1 + 0.0301 \times N}$	0.0034
	40	884	9.8±2.2803 ^{ab}					
	50	1105	11.8±1.9235 ^{abc}					
	60	1327	12.4±1.5166 ^{bc}					
	70	1548	12.8±2.4899 ^c					
C	30	663	3.8±2.1679 ^a	0.2002	9.49	0.1053	$Na = \frac{0.2002 \times N}{1 + 0.0211 \times N}$	0.0041
	40	884	4.2±1.4832 ^{ab}					
	50	1105	4.6±1.3416 ^{ab}					
	60	1327	5.2±1.0954 ^{ab}					
	70	1548	6.2±1.6432 ^b					
D	30	663	1.0±0.7071 ^a	0.0432	3.14	0.3186	$Na = \frac{0.0432 \times N}{1 + 0.0138 \times N}$	0.0076
	40	884	1.0±1.2247 ^a					
	50	1105	1.2±1.3038 ^a					
	60	1327	1.2±1.0954 ^a					
	70	1548	2.2±0.8367 ^a					

注：同规格组内数据上标字母完全不同表示差异显著(P < 0.05)

Notes: in the same size group, values with completely different superscripts mean significant difference(P < 0.05)

度的增加，捕食者之间相互干扰致使单个捕食者的攻击力减小，最终导致捕食作用率下降。

豆娘幼虫在受到种内相互干扰时，其对泥鳅幼体的捕食具有明显的负密度效应；豆娘幼虫相

表 4 不同密度豆娘幼虫对泥鳅幼体捕食量的影响

Tab. 4 Influence of different densities of *I. heterosticta* larvae on the preying amount of *M. anguillicaudatus* larvae

泥鳅幼体数量(N)/条 density of <i>M. anguillicaudatus</i> larvae	单位面积泥鳅幼体密度/(条/m ²) density	豆娘幼虫数量(P)/条 density of <i>I. heterosticta</i> larvae	单位面积豆娘幼虫密度/(条/m ²) density	Na*±SE	E±SE	捕食作用模型 model of predation	χ ²
120	3200	1	27	16.60±2.6077 ^a	0.1383±0.0217 ^a	$E = 0.1403 \times P^{-0.2361}$	0.0013
		2	54	14.20±1.0368 ^b	0.1183±0.0086 ^b		
		3	81	13.27±0.5477 ^b	0.1106±0.0046 ^b		
		4	108	13.10±0.7202 ^b	0.1092±0.0060 ^b		
		5	135	10.64±0.3847 ^c	0.8867±0.0032 ^c		

注: $E=Na*/N, Na*$ 为每只捕食者的平均捕食量, P 为捕食者数量, N 为初始猎物数; 同列数据上标字母完全不相同表示差异显著($P<0.05$), 下同
Notes: $E=Na*/N, Na*$ was the average preying amount of each predator, P was the density of predator, N was the initial number of prey; in the same column, values with completely different superscripts mean significant difference ($P<0.05$), the same below

表 5 天敌密度和猎物密度间的相互干扰作用对豆娘幼虫寻找效应的影响

Tab. 5 Influence of mutual interference between densities of predators and preys on searching effect of *I. heterosticta* larvae

N/条	P/条	Na*±SE	E±SE	捕食作用模型 model of predation	χ ²
30	1	12.80±2.1679 ^a	0.4267±0.0723 ^a	$Na = \frac{0.7841 \times P^{-0.1560} \times N}{1+0.0305 \times N}$	0.0645
60	2	14.20±2.5884 ^a	0.2367±0.4314 ^b		
90	3	15.87±2.5011 ^b	0.1763±0.0278 ^c		
120	4	16.20±3.8341 ^c	0.1350±0.0320 ^{cd}		
150	5	16.76±4.1265 ^d	0.1117±0.0275 ^d		

对密度较低时, 相互干扰差异不明显, 这符合自然种群中捕食者种内竞争对猎物捕食功能反作用的作用特征^[14]。因此, 随着豆娘幼虫数量对泥鳅幼体数量的比例增大, 总的捕食量增加, 但平均捕食量及捕食率却随之下降(表4)。封红兵等^[15]研究表明, 天敌对猎物的捕食作用与天敌密度和猎物密度关系密切, 随着二者密度的增加, 相互干扰作用明显。而林文彩等^[16]研究发现, 随着天敌密度及猎物密度的增加, 天敌的寻找效率有所下降, 但平均每头天敌的捕食量并未因天敌和猎物的增加而降低。林华锋^[17]研究黑肩绿盲蝽(*Cyrtorhinus lividipennis*)对白背飞虱(*Sogatella furcifera*)卵的捕食效应时发现, 捕食作用不仅随捕食者与猎物的密度不同有明显的变化, 而且不同的捕食空间差异也很明显。苏建伟等^[18]的研究也表明, 猎物密度和空间异质性较高时, 捕食者个体间的相互干扰效应较小。因此, 空间异质性是造成平均捕食量差异的原因。本研究提供的容器较大, 结果显示, 随着豆娘幼虫密度及泥鳅幼体密度的增加, 豆娘幼虫的寻找效应E有所下降, 而平均每只豆娘幼虫

的捕食量增加(表4), 与林文彩等^[16]的研究结果相似。

综上, 在实际应用中, 可以根据豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食效应采取相应措施, 降低豆娘幼虫对泥鳅幼体的捕食率, 提高泥鳅幼体培育成活率, 增加养殖收益。豆娘幼虫对泥鳅幼体尤其是低日龄幼体具有很强的捕食作用, 因此, 在泥鳅幼体入塘时, 应保证其具有较强的逃逸能力, 以选择21日龄以上个体为宜; 本实验泥鳅幼体放置密度均根据生产中泥鳅养殖池塘放养密度设置, 根据豆娘幼虫捕食泥鳅幼体的种内种间相互干扰反应可知, 在泥鳅养殖塘的大空间中, 豆娘幼虫之间以及豆娘幼虫与泥鳅幼体之间的相互干扰现象不明显。因此, 在不采取任何措施的自然环境下, 在一定范围内, 豆娘幼虫数量的增加或者泥鳅幼体密度的增加都将对泥鳅养殖不利。因此, 泥鳅幼体的放养密度需控制在合理范围内, 同时, 需采取有效措施控制或减少豆娘幼虫在养殖池塘中的数量, 如架设隔离网阻止豆娘产卵、向鳅苗培育池泼洒化学药品杀灭豆娘幼虫、利用生物防治

手段抑制豆娘幼虫的种群暴发等。

参考文献:

- [1] 储张杰, 卢国兴, 胡廷尖, 等. 真泥鳅和大鳞副泥鳅怀卵量的比较分析[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(13): 2794-2796.
Chu Z J, Lu G X, Hu T J, et al. Comparative analysis on fecundity of *Misgurnus anguillicaudatus* and *Paramisgurnus dabryanus*[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(13): 2794-2796(in Chinese).
- [2] 戈峰. 现代生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2008: 211-229.
Ge F. Modern Ecology[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2008: 211-229(in Chinese).
- [3] 张淑莲, 陈志杰, 仵光俊. 星豹蛛对棉花害虫的捕食效应研究[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1997, 25(S1): 89-94.
Zhang S L, Chen Z J, Wu G J. Control effect of *Pardosa astrigera* to cotton pests[J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 1997, 25(S1): 89-94(in Chinese).
- [4] 甘明, 李明慧, 胡思勤. 东方钝绥螨对柑桔全爪螨捕食效应的研究[J]. 南昌大学学报(理科版), 2001, 25(2): 131-133.
Gan M, Li M H, Hu S Q. A study on the capture effect of predatory mite *Amblyseius orientalis* to red mite *Panonychus citri*[J]. Journal of Nanchang University (Natural Science), 2001, 25(2): 131-133(in Chinese).
- [5] 王甦, 吴迪, 张帆, 等. 异色瓢虫法国种群对豆蚜的捕食效应[J]. 环境昆虫学报, 2012, 34(1): 80-87.
Wang S, Wu D, Zhang F, et al. A comparison of predatory function response in different search spaces of a French non-flying form *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) to *Aphis carvines*[J]. Journal of Environmental Entomology, 2012, 34(1): 80-87(in Chinese).
- [6] Holling C S. Some characteristics of simple types of predation and parasitism[J]. The Canadian Entomologist, 1959, 91(7): 385-398.
- [7] Hassell M P, Varley G C. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control[J]. Nature, 1969, 223(5211): 1133-1137.
- [8] 邹运鼎, 李桂亭, 周夏芝, 等. 饥饿对大草蛉雄成虫捕食作用的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(6): 848-850.
Zou Y D, Li G T, Zhou X Z, et al. Impact of starvation on predation by male adult *Chrysopa septempunctata*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(6): 848-850(in Chinese).
- [9] 王伟定, 王志铮, 杨阳, 等. 黑暗条件下缢蛭(*Sinonovacula constricta*)对牟氏角毛藻(*Chaeroeeros moelleri*)和青岛大扁藻(*Platymonas subcordiformis*)的滤食效应[J]. 海洋与湖沼, 2008, 39(5): 523-528.
Wang W D, Wang Z Z, Yang Y, et al. Filter-feeding by *Sinonovacula constricta* on *Chaeroeeros moelleri* and *Platymonas subcordiformis* in dark[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2008, 39(5): 523-528(in Chinese).
- [10] 洪芳, 陈婉, 肖波, 等. 蝗总科7种昆虫下颚须感受器的扫描电镜观察[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2010, 31(3): 81-85.
Hong F, Chen W, Xiao B, et al. Fine structures of the sensilla on the maxillary palpus from the seven species of Acridoidea[J]. Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition), 2010, 31(3): 81-85(in Chinese).
- [11] 严福顺, 钦俊德, 项秀芬. 七星瓢虫成虫下颚须上的化学感受器[J]. 昆虫学报, 1987, 30(2): 146-151.
Yan F S, Qin J D, Xiang X F. The chemoreceptors on the maxillary palps of the adult lady bird beetle *Coccinella septempunctata*[J]. Acta Entomologica Sinica, 1987, 30(2): 146-151(in Chinese).
- [12] 刘志萍, 李燕飞, 王进军. 三种隐翅虫下颚须和下唇须感器超微结构的比较研究(鞘翅目: 隐翅虫总科)[J]. 昆虫分类学报, 2008, 30(1): 25-30.
Liu Z P, Li Y F, Wang J J. Comparison of sensilla on the maxillary and labial palpus of three species of staphylinidae (Coleoptera: Staphylinoidea)[J]. Entomotaxonomia, 2008, 30(1): 25-30(in Chinese).
- [13] 严英俊, 吴中孚. 草间小黑蛛对褐稻虱的捕食作用及其模拟模型[J]. 福建农学院学报, 1989, 18(3): 289-294.
Yan Y J, Wu Z F. Predation and simulation model of dwarf spider to brown planthopper[J]. Journal of Fujian Agricultural College, 1989, 18(3): 289-294(in Chinese).
- [14] 牛翠娟, 娄安如, 孙儒泳, 等. 基础生态学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 119-120.
Niu C J, Lou A R, Sun R Y, et al. Fundamentals of Ecology[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007: 119-120(in Chinese).
- [15] 封红兵, 徐静, 张青文, 等. 新疆棉区主要捕食性天敌对棉铃虫捕食功能反应的研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 1026-1028.
Feng H B, Xu J, Zhang Q W, et al. Functional predation response of three main species to cotton bollworm in Xinjiang cotton-planting area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(6): 1026-1028(in Chinese).

- [16] 林文彩, 章金明, 吕要斌, 等. 草间小黑蛛雌成蛛对小菜蛾和菜青虫幼虫的捕食效应[J]. 浙江农业学报, 2006, 8(4): 216-220.
Lin W C, Zhang J M, Lv Y B, *et al.* Predation of female adults of *Erigonidium graminicolum* on larvae of *Plutella xylostella* and *Pieris rapae*[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2006, 8(4): 216-220(in Chinese).
- [17] 林华锋. 黑肩绿盲蝽对白背飞虱卵的捕食效应[J]. 植物保护学报, 1995, 22(3): 198-204.
Lin H F. On the functional response of *Cyrtorhinus lividipennis* to the eggs of white-backed rice planthopper[J]. Acta Phytomyologica Sinica, 1995, 22(3): 198-204(in Chinese).
- [18] 苏建伟, 盛承发, 杨星科. 叶色草蛉幼虫对棉蚜的捕食效应: 种内干扰和空间异质性[J]. 昆虫学报, 2000, 43(1): 107-111.
Su J W, Sheng C F, Yang X K. Predation of the green lacewing, *Chrysopa phyllochroma* Wesmael on the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover: intraspecific interference and space heterogeneity[J]. Acta Entomologica Sinica, 2000, 43(1): 107-111(in Chinese).

Study on predatory effect of *Ischnura heterosticta* larvae on *Misgurnus anguillicaudatus* larvae

WANG Xiaojun¹, CHU Zhangjie^{1*}, Babacar Diakhate¹, HUANG Tao¹, TANG Zhoukai¹,
HE Zhuliu¹, BAO Huajiang¹, ZHAO Bo¹, GAO Yang¹, HU Xiufeng², JIA Xinglu²

(1. School of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. Zhoushan Taidao Qiuye Co. Ltd., Zhoushan 316013, China)

Abstract: To investigate the influence of the predator, *Ischnura heterosticta* larvae on survival rate of *Misgurnus anguillicaudatus* larvae, we studied the predatory effect of *I. heterosticta* larvae on *M. anguillicaudatus* larva based on the predator-prey relationship theory. Results of experiments showed that: the predation functional response of *I. heterosticta* larvae to *M. anguillicaudatus* larvae belonged to type Holling-II. With the increase in daily age of *M. anguillicaudatus* larvae, the moment attack (a') and the largest preying amount per day ($1/T_h$) declined. The preying amount increased as prey density increased. The predatory function of different sizes of *I. heterosticta* larva to *M. anguillicaudatus* larva had significant differences. For *I. heterosticta* larvae with different body lengths (16.3±0.2), (13.1±0.3), (9.8±0.2) and (5.8±0.3) mm to 3-day-age larvae of *M. anguillicaudatus*, the moment attack and the largest preying amount per day were 0.8349, 0.5724, 0.2002, 0.0432, and 27.39, 18.99, 9.49, 3.14, respectively. With the density of *I. heterosticta* larvae increased, the mutual interference between the individuals led to reduction in the time of a single *I. heterosticta* larva looking for prey. Under intraspecific competition, predatory effect rate (E) as a function of density (P) was $E = 0.1403 \times P^{-0.2361}$. With the increase of *M. anguillicaudatus* larvae and *I. heterosticta* larvae density, interference effect increases obviously, predatory efficiency rate (E) drops, but had little impact on preying amount, and the model of interspecific interference was $Na = \frac{0.7841 \times P^{-0.1560} \times N}{1 + 0.0305 \times N}$. The results demonstrated that *I. heterosticta* larva is important predator, which can remarkably reduce the survival rate of *M. anguillicaudatus* larvae.

Key words: *Ischnura heterosticta*; *Misgurnus anguillicaudatus*; larva; predatory effect

Corresponding author: CHU Zhangjie. E-mail: czj0501@sina.com

Funding projects: National Spark Plan Project (2014GA700123)