

doi: 10.7541/2023.2022.0285

稻田黄鳝的食物组成及其对克氏原螯虾捕食强度研究

黄路全^{1,2,3,4} 徐聚臣¹ 范泽宇¹ 黄涛¹ 吕亚兵¹ 侯杰^{1,2,3} 何绪刚^{1,2,3}

(1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070; 2. 教育部长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心, 武汉 430070; 3. 农业农村部水产养殖设施工程重点实验室, 武汉 430070; 4. 珠江水资源保护科学研究所, 广州 510635)

摘要: 文章研究了稻田黄鳝(*Monopterus albus*)天然饵料生物资源、稻田黄鳝对克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)捕食选择及不同投喂策略下黄鳝对克氏原螯虾的捕食强度, 旨在为构建与优化稻-虾-鳝综合种养模式提供依据。结果表明, 稻田中黄鳝天然饵料生物种类丰富, 达16种(属); 克氏原螯虾是黄鳝最喜猎物, 其次为米虾, 再次为蚯蚓和水生寡毛类; 稻田黄鳝自然生长期间, 其胃和肠前端食物团中, 克氏原螯虾重量百分比均显著高于其他猎物, 其中8月份占比最大, 达93.90%, 4月份占比最小, 为76.85%; 当克氏原螯虾为唯一食物时, 每尾大规格成鳝(≥ 200 g)日均捕食量为 (1.63 ± 0.065) g; 当克氏原螯虾、米虾和蚯蚓作为食物时, 黄鳝主要捕食克氏原螯虾且不捕食蚯蚓, 对三者的选择指数分别为0.066、-0.266和-1; 若以克氏原螯虾、鱼糜-饲料为食物时, 黄鳝主要摄食鱼糜-饲料, 极少捕食克氏原螯虾, 对两者的选择指数分别为-0.846和0.591。

关键词: 稻田; 选择指数; 稻-虾-鳝; 黄鳝; 克氏原螯虾

中图分类号: Q178.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2023)06-0982-07



稻渔综合种养模式结合了水稻的种植与水产经济动物的养殖, 是一种科学、复合的生态种养模式。该模式提高了稻田生态系统空间、物质和能量的利用率, 从而获得更佳的综合效益^[1,2]。克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)餐饮文化的快速走红, 加上政府对稻虾产业的高度重视与大力支持, 已逐步形成集繁育、养殖、加工流通、餐饮等庞大且成熟的产业链, 促进了稻虾共作模式的蓬勃发展。近年来, 稻虾共作规模急速扩大, 出现了虾苗滞销、种质资源退化、成虾品质不高问题^[3], 其经济效益也变得不稳定。因此, 有学者提出在稻虾田内散养黄鳝, 构建稻-虾-鳝综合种养模式^[4]。但是, 黄鳝与克氏原螯虾为捕食和被捕食关系, 放养黄鳝是否会使稻虾田中的克氏原螯虾大幅减产? 这是关乎稻-虾-鳝综合种养模式是否成立的关键问题。目前关于稻田中黄鳝的食性及其对克氏原螯虾捕食压力的研究尚未有报道。因此, 研究稻田养殖环境下黄鳝的基础饵料及食物组成具有重要意义。

黄鳝(*Monopterus albus*)是以动物食性为主的杂食性动物, 其生存环境中的天然饵料生物较为复杂^[5,6]; 黄鳝有胃, 其消化能力强, 消化吸收机能主要集中于胃和肠的前部^[7]。本研究通过对稻虾田大型和底栖生物的资源调查及黄鳝胃肠含物分析, 探究了稻虾田中黄鳝的潜在饵料生物, 食物组成及其对克氏原螯虾的捕食选择; 同时通过室内捕食实验研究了不同投喂策略下黄鳝对克氏原螯虾的捕食强度, 以期为稻-虾-鳝综合种养的建立及该模式下黄鳝的合理放养提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 野外稻虾鳝大田实验

试验于2021年4—10月期间在湖北省潜江市楚稻虾稻共生专业合作社实验基地开展。稻田水面面积为1000 m², 种植面积667 m², 四面环沟。虾苗通过自繁自养获得, 种虾于2020年10月投放, 规格为35—45 g, 共投放20 kg。黄鳝为稻田环境中天

收稿日期: 2022-07-22; 修订日期: 2022-11-11

基金项目: 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项(2019YFD0900304); 中央高校基本科研业务费专项资金(2662020SCP001)资助 [Supported by the National Key Research and Development Project (2019YFD0900304); the Fundamental Research Funds for Central University (2662020SCP001)]

作者简介: 黄路全(1997—), 男, 硕士研究生; 研究方向为鱼类健康养殖模式与技术。E-mail: 807404425@qq.com

通信作者: 何绪刚, 教授; 研究方向为鱼类健康养殖、渔业水域环境保护与修复。E-mail: xgh@mail.hzau.edu.cn

然存在。

为查明稻虾田内黄鳝的天然饵料资源, 在水稻不同生长时期进行稻虾鳝田大型生物和底栖动物的资源调查, 分别为水稻生长阶段中的本田期(6月7日—6月14日)、返青期(6月14日—6月30日)、分蘖期(6月30日—7月29日)、拔节期(7月29日—8月8日)、抽穗期(8月8日—9月2日)和成熟期(9月2日—10月1日)。大型生物的采集使用地笼, 地笼网目为1 cm, 规格为40 cm×40 cm×8 m, 放置于稻田环沟处, 每日6:00开始起捕, 统计渔获物种类及其重量; 底栖生物的采集使用1/16 m²彼得森采泥器在稻田内环沟处采集, 设置对边环沟两个采样点。将采取的底泥放入40目手抄网中, 冲洗掉泥沙后置于白瓷盘中, 使用镊子挑选出底栖动物后鉴定种类并进行计数和称重。

使用地笼笼捕黄鳝进行其食性的调查, 测量并记录捕获黄鳝的体重、全长, 然后立刻解剖, 用棉线扎紧胃和肠前部的两端并将其剪下立即进行处理分析, 剪开胃和肠前部并刮取内容物, 称重并记录。鉴定内容物中未被完全消化且能直接辨认的食物的种类及数量, 用解剖镜鉴定形态较为完整、消化程度不高的食物种类, 使用镊子将食物团中的克氏原螯虾取出, 并称重记录。

1.2 黄鳝投喂策略实验

将9个规格为86 cm×64 cm×41 cm的方形塑料桶作为实验容器, 放置在阴凉通风处。实验分为3个处理组, 每组设3个重复。实验桶设置进排水系统, 实验过程中保持桶内水位高度5—10 cm, 底部放置少量瓦砾作为掩蔽体。选取9尾规格为(199.7±2.3) g, 体质健康的成鳝分别放入实验桶内, 每桶1尾。实验开始前, 对黄鳝进行集中驯食处理, 每日投喂适量的鱼糜-饲料直至1周后黄鳝开口摄食。在正常摄食1周后, 分别放入实验桶内, 经48h饥饿处理后开始实验。实验过程中每日定时观察食物的数量, 记录实验桶内克氏原螯虾、米虾(*Caridina denticulate sinensis*)及蚯蚓(*Pheretima* spp.)被捕食数量、死亡情况并及时处理和补充食物, 投喂克氏原螯虾+鱼糜-饲料组使用玻璃培养皿

盛放食物, 缓慢放入桶底, 0.5h后缓慢取出, 去除多余的水后称重计算黄鳝的摄食量, 实验连续观察28d(表1)。

1.3 数据处理与分析

黄鳝对动物性饵料的选择性用选择指数*E*来评价, 公式为:

$$E_i = (r_i - p_i) / (r_i + p_i)$$

式中, *E_i*为饵料*i*的选择指数, *r_i*为饵料*i*在被摄食的量在总摄食量中的占比, *p_i*为饵料*i*在饵料总量中的占比, -1<*E*<1, *E*>0表示对该饵料具有选择性, *E*<0表示不喜好该饵料, *E*=0则表示随机选择饵料^[8]。

重量百分比(%)=某种饵料在食物团中的重量/食物团总重

空胃率(%)=出现空胃黄鳝的尾数/采集黄鳝样品总尾数

试验结果用平均值±标准误表示, 用SPSS25.0软件进行单因素方差分析(One way-ANOVA), 采用Duncan's多重比较进行组间显著性差异分析, 若*P*<0.05则差异水平显著, 使用Origin2019进行作图。

2 结果

2.1 稻田中黄鳝的基础饵料

调查结果表明, 稻田中黄鳝基础饵料生物主要有: 克氏原螯虾、蚯蚓、米虾、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、水生寡毛类、黑斑侧褶蛙(*Pelophylax nigromaculatus*)和中华大蟾蜍(*Bufo gargarizans*)幼体及昆虫幼虫等16个种(属)。其中麦穗鱼、鲫、泥鳅、克氏原螯虾、尾鳃蚓属和水丝蚓属在水稻不同生长时期均可检测到, 属于常见种(属)。本田期至分蘖期稻田环境中黄鳝可食物种类多, 均在13种及以上。拔节期至成熟期可食物种类开始不断减少, 成熟期最少, 仅有8种(表2)。

2.2 稻田黄鳝食物组成

4—8月稻田中共采集实验黄鳝296尾。按规格统计, 其中稚鳝(50—100 g)81尾, 成鳝(100—200 g)174尾, 大规格成鳝(≥200 g)41尾; 按时间统计,

表1 不同组别的实验设置

Tab. 1 Experimental treatment of different groups

组别Group	食物组成Food composition	实验方法Experimental method
克氏原螯虾组	4 g/尾虾苗10尾	每日上午观察记录桶内虾苗、米虾和蚯蚓被捕食的情况, 如有捕食则补充至原始数量
克氏原螯虾+米虾+蚯蚓组	4 g/尾虾苗8尾, 0.2 g/尾米虾30尾, 0.7 g/只蚯蚓3只	
克氏原螯虾+鱼糜-饲料组	4 g/尾虾苗8尾, 鱼糜-饲料10 g	每日上午观察记录桶内虾苗被捕食的情况, 如有虾苗被捕食则补充至8尾, 且每日傍晚投喂鱼糜-饲料10 g, 0.5h后捞出剩余部分, 称量、计算并记录

表 2 水稻不同生长期稻田中黄鳝的基础饵料生物

Tab. 2 Potential food for eels in paddy environments of different rice growing periods

	本田期 Barbarism stage	返青期 Reviving stage	分蘖期 Tilling stage	拔节期 Elongation stage	抽穗期 Heading stage	成熟期 Maturing stage
沼虾 <i>Macrobrachium</i>	+	+				
米虾 <i>Caridina</i>	+	+	+			
克氏原螯虾 <i>Procambarus clarkii</i>	+	+	+	+	+	+
中华圆田螺 <i>Cipangopaludina chinensis</i>	+		+	+	+	+
铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i>					+	
颤蚓属 <i>Tubifex</i> sp.		+	+	+		+
尾腮蚓属 <i>Branchiura</i> sp.	+	+	+	+	+	+
水丝蚓属 <i>Limnodrilus</i> sp.	+	+	+	+	+	+
羽摇蚊 <i>Chironomus plumosus</i>	+	+	+			
粗腹摇蚊属 <i>Pelopia</i> sp.	+		+		+	
多足摇蚊属 <i>Polypedilum</i> sp.	+	+	+	+		
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	+	+	+	+	+	+
鲫 <i>Carassius auratus</i>	+	+	+	+	+	+
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	+	+	+	+	+	+
黑斑侧褶蛙 <i>Pelophylax nigromaculatus</i>	+	+	+	+	+	
中华大蟾蜍 <i>Bufo gargarizans</i>	+	+	+	+	+	
合计Total	14	13	14	11	11	8

4—8月分别采集黄鳝38、58、70、72和58尾。实验期间稻田黄鳝体重由(116.89±37.68) g增长至(146.28±38.51) g, 其中4—5月期间增长速度最快, 期间平均增长26.94 g。5—8月期间增长速度减缓, 期间平均仅增长2.45 g; 7月黄鳝的空胃率最低, 为23.61%, 4月空胃率最高, 为47.37%。6—8月黄鳝空胃率相近且空胃率均值仅为25.64%, 说明该段时间是黄鳝捕食活动的旺盛期(表 3)。

虾稻田黄鳝天然饵料生物主要为克氏原螯虾、小型野杂鱼虾类、蚯蚓、蝌蚪和水生寡毛类等。不同规格黄鳝的胃和肠前部食物组成中均以克氏原螯虾出现频率最大, 其次为米虾, 再次为蚯蚓和水生寡毛类。泥鳅和麦穗鱼的出现频率在大

规格成鳝(≥200 g)中最高, 成鳝(100—200 g)次之, 稚鳝(50—100 g)中未发现该两种鱼(表 4), 主要与不同规格黄鳝捕食能力的强弱有关。从各月份黄鳝食物出现的频率来看, 黄鳝的胃和肠前部食物组成中克氏原螯虾、蚯蚓、泥鳅在后期(7、8月份)出现的频率较前期(4、5月份)出现频率更高。而米虾恰恰相反, 在前期(4、5月份)出现频率最高。此外, 除麦穗鱼在6月份和水生寡毛类在4月份和7月份未出现外, 其余各月均在黄鳝食物组成中发现其余各种类(表 5)。

2.3 黄鳝对稻田克氏原螯虾捕食选择性

4—8月克氏原螯虾是稻田黄鳝的主要食物, 黄鳝食物团中克氏原螯虾的重量百分比均大于76.85%, 其中6月份最大, 为93.90%, 4月份最小, 为76.85%。4—6月黄鳝食物团中克氏原螯虾的重量百分比逐渐增大, 6—8月又逐渐减小(图 1)。

黄鳝的规格与被捕食的克氏原螯虾的规格无明显规律, 实验发现不同规格的黄鳝均主要捕食1.4—4.3 g的克氏原螯虾虾苗。造成该实验结果的原因可能是实验开始阶段稻田中大量的虾苗的规格已超过1.4 g(图 2)。

2.4 不同投喂策略下黄鳝对克氏原螯虾捕食强度

黄鳝投喂策略实验的结果显示, 在整个试验期间, 3个处理组黄鳝摄食量均较为稳定, 克氏原螯虾

表 3 黄鳝摄食强度随月份的变化

Tab. 3 Monthly variation of feeding intensity of eel

月 Month	样本数量/尾 Number of fish	体重范围 Weight range (g)	体重 Weight (g)	空胃率 Percentage of emptiness (%)
4月 April	38	52—205	116.89±37.68	47.37
5月 May	58	54—284	143.83±45.67	37.93
6月 June	70	53—269	135.56±44.77	25.71
7月 July	72	52—259	141.54±39.58	23.61
8月 August	58	56—257	146.28±38.51	27.59

表 4 不同规格黄鳝的胃和肠前部的食物组成

Tab. 4 The food composition of the stomach and anterior intestine of different sizes of eel

种类Species	50—100 g(81尾)		100—200 g(174尾)		≥200 g(41尾)	
	出现次数 Occurrence	出现频率 Frequency (%)	出现次数 Occurrence	出现频率 Frequency (%)	出现次数 Occurrence	出现频率 Frequency (%)
克氏原螯虾 <i>Procambarus clarkii</i>	40	49.38	100	57.47	24	58.54
蚯蚓 <i>Pheretima</i> spp.	9	11.11	26	14.94	5	12.20
米虾 <i>Caridina denticulate Sinensis</i>	21	25.93	34	19.54	18	43.90
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	0	0.00	5	2.87	4	9.76
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	0	0.00	1	0.57	4	9.76
水生寡毛类 <i>Oligochaeta</i>	13	16.05	23	13.22	5	12.20
蝌蚪Tadpoles	6	7.41	8	4.60	2	4.88
昆虫幼虫Insecta	4	4.94	2	1.15	4	9.76

表 5 各月份黄鳝各食物的出现频率

Tab. 5 Occurrence frequency of various foods of eel in each month (%)

种类Species	4月 April	5月 May	6月 June	7月 July	8月 August
克氏原螯虾 <i>Procambarus clarkii</i>	28.95	39.66	68.57	63.89	62.07
蚯蚓 <i>Pheretima</i> spp.	15.79	6.90	8.57	11.11	27.59
米虾 <i>Caridina denticulate sinensis</i>	36.84	43.10	24.29	16.67	8.62
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	2.63	1.72	1.43	4.17	5.17
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	13.16	3.45	0.00	15.28	5.17
水生寡毛类 <i>Oligochaeta</i>	0.00	15.52	17.14	0.00	6.90
蝌蚪Tadpoles	13.16	3.45	2.86	5.56	6.90
昆虫幼虫Insecta	2.63	1.72	1.43	5.56	5.17

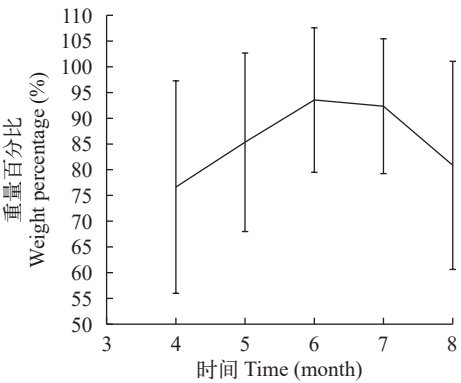


图 1 黄鳝食物团中克氏原螯虾的重量百分比随月份的变化

Fig. 1 Monthly variation of weight percentage of *Procambarus clarkii* in the food group of eel

组、克氏原螯虾+米虾+蚯蚓组和克氏原螯虾+鱼糜-饲料组黄鳝每4日摄食量均值分别为(6.95±0.79)、(6.75±1.57)和(15.48±1.35) g。此外, 克氏原螯虾+鱼糜-饲料组黄鳝每4日摄食量均值显著大于仅投喂克氏原螯虾组和投喂克氏原螯虾+米虾+蚯蚓组($P<0.05$; 图 3)。同时, 该组下的克氏原螯虾在黄鳝食

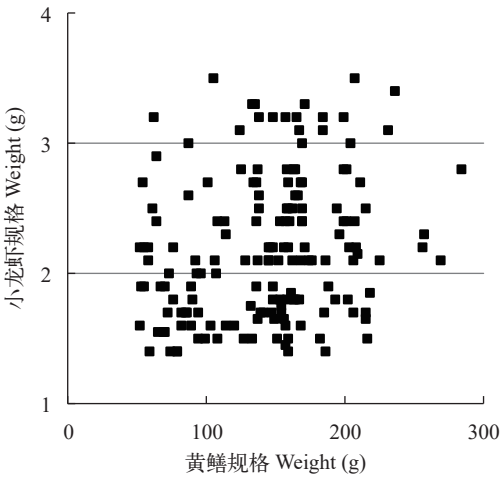


图 2 黄鳝与被捕食克氏原螯虾规格大小的关系

Fig. 2 Size relationship between eel and prey crayfish

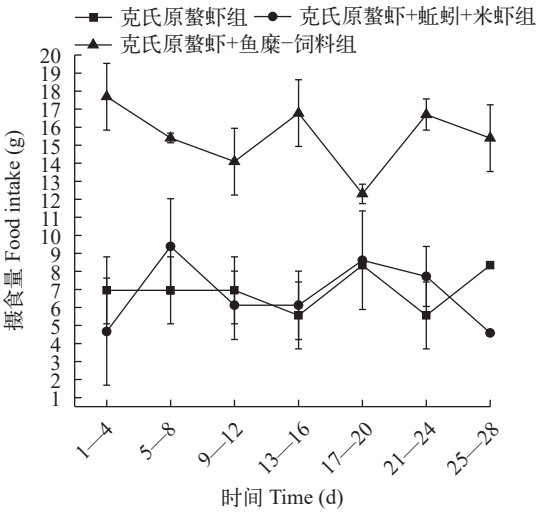


图 3 投喂模拟实验下黄鳝的摄食量

Fig. 3 The food intake of eel in feeding simulation experiment

物中的比例显著低于其余两个实验组($P<0.05$; 表 6)。

克氏原螯虾+米虾+蚯蚓组中的黄鳝对克氏原螯虾、米虾和蚯蚓的选择指数分别为0.066、-0.266、

表 6 不同试验组黄鳢的摄食情况

Tab. 6 Monthly variation of feeding intensity of eel

组别 Group	克氏原螯 虾组 Crayfish	克氏原螯虾+ 米虾+蚯蚓组 Crayfish+ Caridina+ Earthworm	克氏原螯虾+ 鱼糜-饲料组 Crayfish+ Surimi+ Forage
日均摄食量 Average daily food intake (g)	1.63±0.07	1.71±0.01	3.86±0.07
克氏原螯虾在食物 中的重量百分比 Weight percentage of crayfish in food (%)	100	91.60±0.70	5.50±2.31

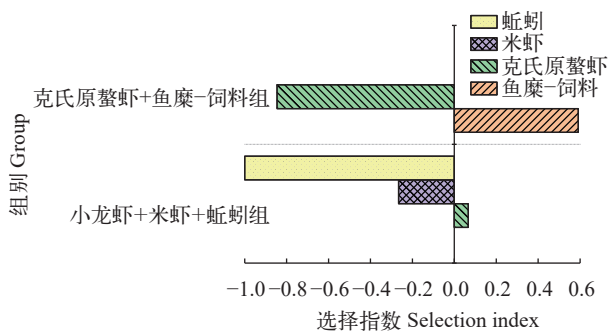


Fig. 4 Predation selectivity of eel in different test groups to different feed

图 4 不同试验组黄鳢对不同饵料的捕食选择性

-1, 表明相比于米虾和蚯蚓, 黄鳢偏爱摄食克氏原螯虾; 克氏原螯虾+鱼糜-饲料组中的黄鳢对克氏原螯虾和鱼糜-饲料的选择指数分别为-0.846和0.591, 表明当存在克氏原螯虾和鱼糜-饲料的食物选择时, 黄鳢偏爱摄食鱼糜-饲料, 但对克氏原螯虾的捕食选择倾向较低(图 4)。

3 讨论

3.1 放养黄鳢对稻虾田克氏原螯虾的影响

捕食者对猎物的选择性受多方面影响, 鳊(*Siniperca chuatsi*)对猎物的选择与猎物组成、猎物形态、活动水平及生境结构有关^[9]; 乌鳢(*Channa argus*)对泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)的捕食具有明显的大小选择性^[10]; 日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)主要捕食规格较小的日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*), 对体长为2.4 cm左右的日本沼虾具有明显的追捕行为^[11]。本研究结果表明, 稻田散养黄鳢喜食克氏原螯虾, 在黄鳢、克氏原螯虾主要的生长时期, 不同规格的黄鳢均主要捕食5 g以下的克氏原螯虾虾苗。

龟纹瓢虫(*Propylaea japonica*)对棉蚜(*Aphis gossypii* Glover)捕食活动的强度随着棉蚜密度的增大而下降^[12]; 张淑莲等^[13]进行了星豹蛛(*Pardosaas-*

trigera)对棉盲蝽(*Adelophcoris fasticaticollis* Rauter)、棉铃虫 (*Helicoverpa armigera* Hubner)和棉叶螨 (*Tetranychus cinnatarinus*)等的捕食效应的研究, 发现星豹蛛随着自身密度的增加, 个体对猎物的捕食量会减少, 而整体对猎物的捕食量会增大。在自然界中, 捕食作用是在环境条件影响下捕食者与被捕食者之间一个复杂的相互作用的过程, 往往表现为两者之间直接的对抗, 这种作用可能是有害的, 也可能是有利的^[14]。在稻虾共作模式下, 大量的虾苗库存致使种质退化严重和养殖风险增大^[15, 16]。而稻-虾-鳢综合种养模式下, 尽管黄鳢对克氏原螯虾的捕食作用会造成克氏原螯虾在一定程度上的减产^[17], 但却能有效控制虾苗的密度, 稳定虾农的经济收益^[18]。

通过克氏原螯虾育养分区模式, 并结合市场行情的变化, 虾农可以及时调整稻田内的虾鳢比。当克氏原螯虾市场价格偏低时, 可以增大稻-虾-鳢综合种养稻田内黄鳢的比例, 通过黄鳢的捕食作用减缓虾苗滞销的压力, 稻-虾-鳢综合种养田中黄鳢产量的提高可以规避克氏原螯虾市场行情不好所导致的风险; 当克氏原螯虾市场价格较高时, 虾苗的获得成本较高, 此时应保障虾苗的存活。根据本研究实验结果, 黄鳢捕食克氏原螯虾的重量范围为1.3—4.3 g, 因此尽量筛分规格大于5 g的克氏原螯虾投放入稻-虾-鳢综合种养稻田内, 减少因黄鳢捕食而造成的损失。

3.2 投喂策略对于减缓黄鳢捕食克氏原螯虾的作用

食性研究是动物生态学的重要内容, 是了解动物与环境、捕食者与猎物关系的基础, 也是选择构建栖息地、研究营养流动及取食对策、评价物种生存状况及生态系统功能等问题的依据^[19—21]。

本研究先通过胃含物法分析了黄鳢的食物组成, 再基于此通过不同投喂策略改变共存猎物种类和数量来进一步分析黄鳢对克氏原螯虾的捕食选择性。研究结果表明, 克氏原螯虾作为唯一食物时, 每尾大规格成鳢(≥ 200 g)每日可捕食克氏原螯虾(1.63 ± 0.065) g; 克氏原螯虾、米虾和蚯蚓作为食物时, 黄鳢主要捕食克氏原螯虾但不捕食蚯蚓, 这与黄鳢的捕食选择性不相符^[22], 可能是由于自然条件下黄鳢主要依靠发达的嗅觉来感受猎物发出的气味和振动来捕食^[23], 而本实验为便于观察, 仅设置了少量的掩蔽体且底部无底泥, 极大地改变了黄鳢、蚯蚓在环境中的生存环境导致黄鳢改变了其摄食选择; 若以克氏原螯虾和鱼糜-饲料为食物时, 黄鳢以鱼糜-饲料为主要食物且不捕食克氏原螯虾。因此在养殖过程中, 当出现黄鳢密度过大且克

氏原螯虾存量不足时, 可以通过投喂策略的改变以保障克氏原螯虾的产量, 同时还可以有效提高黄鳝的摄食量, 获得更高的黄鳝产量, 从而获得更高的经济效益。

参考文献:

- [1] Guan W B, Liu K, Shi W, *et al.* Scientific paradigm of integrated farming of rice and fish [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(16): 5451-5464. [管卫兵, 刘凯, 石伟, 等. 稻渔综合种养的科学范式 [J]. *生态学报*, 2020, **40**(16): 5451-5464.]
- [2] Cao C G, Jiang Y, Wang J P, *et al.* "Dual character" of rice-crayfish culture and strategy for its sustainable development [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, **25**(9): 1245-1253. [曹凑贵, 江洋, 汪金平, 等. 稻虾共作模式的“双刃性”及可持续发展策略 [J]. *中国生态农业学报*, 2017, **25**(9): 1245-1253.]
- [3] He L, Yu Y L, Gan J H, *et al.* Study and analysis on quality and safety risk of crayfish [J]. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2020, **10**(1): 1-12. [何力, 喻亚丽, 甘金华, 等. 克氏原螯虾质量安全风险研究与分析 [J]. *中国渔业质量与标准*, 2020, **10**(1): 1-12.]
- [4] Shao N L. Study on the high efficient ecological farming model in *Monopterus albus*-*Procambarus clarkii*-*Oryza sativa* [D]. Shanghai Ocean University, 2015. [邵乃麟. 黄鳝-克氏原螯虾-水稻高效生态种养模式的探索 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.]
- [5] Yang D Q, Chen F, Li D X, *et al.* Preliminary study on the food composition of mud eel, *Monopterus albus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1997(1): 24-30. [杨代勤, 陈芳, 李道霞, 等. 黄鳝食性的初步研究 [J]. *水生生物学报*, 1997(1): 24-30.]
- [6] Xu H, Zhao Y Y, Sun D Y, *et al.* Progress in integrated rice-crayfish farming system [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2022, **24**(2): 160-168. [许辉, 赵阳阳, 孙东岳, 等. 稻虾共作模式研究进展 [J]. *中国农业科技导报*, 2022, **24**(2): 160-168.]
- [7] Li M F. Summary of biological research of *Monopterus albus* Zuiew [J]. *Modern Fisheries Information*, 2001, **14**(2): 28-33. [李明峰. 黄鳝(*Monopterus albus*)生物学的研究进展 [J]. *现代信息渔业*, 2001, **14**(2): 28-33.]
- [8] Ivlev V S. *Experimental Ecology of the Feeding of Fishes* [M]. New Haven: Yale University Press, 1961.
- [9] Cui F T, Zhang T L, Liu J S, *et al.* A preliminary study on prey type selection in *Siniperca chuatsi* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2013, **43**(6): 29-34. [崔方天, 张堂林, 刘家寿, 等. 鳊对猎物种类选择性的初步研究 [J]. *淡水渔业*, 2013, **43**(6): 29-34.]
- [10] 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 [J]. *华中农业大学学报*, 2009, **28**(6): 726-730.]
- [11] Wang Z Z, Yang L, Zhu W D, *et al.* Study of predation habit of *Anguilla japonica* on *Macrobrachium nipponense* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2011, **42**(1): 107-113. [王志铮, 杨磊, 朱卫东, 等. 日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)对日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)的捕食效应 [J]. *海洋与湖沼*, 2011, **42**(1): 107-113.]
- [12] Ge F, Ding Y Q. The foraging behavior of lady beetle *Propylaea Japonica* towards cotton aphids *Aphis Gossypii* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1995(4): 436-441. [戈峰, 丁岩钦. 龟纹瓢虫对棉蚜的捕食行为 [J]. *昆虫学报*, 1995(4): 436-441.]
- [13] 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(S1): 89-94. [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(S1): 89-94.]
- [14] Yuan X Y. Studies on the interspecies mutual relationship between the three species of economic adaptation animals in paddy field [D]. Zhejiang Ocean University, 2016. [袁向阳. 稻田生境下三种经济适养动物的种间相互作用关系研究 [D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2016.]
- [15] Zhang J H, Zhu L Y, Kou X M, *et al.* Issues and countermeasures of comprehensive cropping-breeding pattern of red swamp crayfish [J]. *Agricultural Outlook*, 2019, **15**(5): 59-66. [张家宏, 朱凌宇, 寇祥明, 等. 克氏原螯虾综合种养模式存在的问题及对策 [J]. *农业展望*, 2019, **15**(5): 59-66.]
- [16] Bi S W, Bi W S, Li Y F, *et al.* Biology and breeding techniques of *Monopterus albus* [J]. *Modern Fisheries Information*, 1998, **13**(5): 16-19. [毕庶万, 毕文胜, 李烟芬, 等. 黄鳝生物学和增殖技术 [J]. *现代渔业信息*, 1998, **13**(5): 16-19.]
- [17] Liang J, Zheng G H, Lü Y B, *et al.* Economic benefit analysis of integrated rice, shrimp and finless eel breeding [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2020, **59**(3): 189-192. [梁洁, 郑国红, 吕亚兵, 等. 稻-虾-鳝综合种养的经济效益分析 [J]. *湖北农业科学*, 2020, **59**(3): 189-192.]
- [18] Huang L Q. Analysis of the impact of rice field eels on predation pressure on crayfish and the benefits of integrated rice and fishery farming [D]. Huazhong Agriculture University, 2022. [黄路全. 黄鳝对克氏原螯虾捕食压力及稻渔综合种养效益影响分析 [D]. 华中农业大学, 2022.]
- [19] Aryal A, Panthi S, Barraclough R K, *et al.* Habitat selection and feeding ecology of dhole (*Canis lupus*) in the Himalayas [J]. *Journal of Mammalogy*, 2015, **96**(1): 47-53.
- [20] Duffy J E, Cardinale B J, France K E, *et al.* The functional role of biodiversity in ecosystems: incorporating trophic complexity [J]. *Ecology Letters*, 2007, **10**(6): 522-538.

- [21] Sheppard S K, Harwood J D. Advances in molecular ecology: tracking trophic links through predator-prey food-webs [J]. *Functional Ecology*, 2005, **19**(5): 751-762.
- [22] Ding B Y, Cui D X, Li Z Y. Study on the feeding attractive effect of pig liver and earthworm on *Monopterus albus* [J]. *Chinese Feed*, 2002(13): 26. [丁斌鹰, 崔冬霞, 李智勇. 猪肝和蚯蚓对黄鳝诱食效果的研究 [J]. 中国饲料, 2002(13): 26.]
- [23] Wang F Y, Zhang S P. Advances in biology of *Monopterus albus* [J]. *Reservoir Fisheries*, 2004, **24**(6): 1-3. [王方雨, 张世萍. 黄鳝生物学研究进展 [J]. 水利渔业, 2004, **24**(6): 1-3.]

FOOD COMPOSITION OF RICE FIELD EELS AND PREDATION INTENSITY ON CRAYFISH

HUANG Lu-Quan^{1,2,3,4}, XU Ju-Chen¹, FAN Ze-Yu¹, HUANG Tao¹, LÜ Ya-Bing¹, HOU Jie^{1,2,3} and HE Xu-Gang^{1,2,3}

(1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Engineering Research Center of the Ministry of Education for Green Development of Bulk Aquatic Biological Industry in the Yangtze River Economic Belt, Wuhan 430070, China; 3. Key Laboratory of Aquaculture Facilities Engineering, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, China; 4. Pearl River Water Resources Protection Institute, Guanzhou 510635, China)

Abstract: Rice-crayfish-eel co-culture is a high benefit comprehensive culture model that integrating rice planting, crayfish and eel cultivation. However, study on the predatory relationship between eel and crayfish is lacking, which is one of the key issues related to the establishment of this model. This study explored the potential food organisms and food composition of eel in rice-crayfish fields and its predation selection for crayfish by investigating the resources of macroorganisms and benthos and analyzing the gastrointestinal contents of eel in rice crayfish fields. The results showed that the natural bait for rice field eels was abundant in the paddy field environment, a total of 16 genera of basic bait organisms were found. Crayfish was the most preferred prey for eel, followed by caridina, earthworms and aquatic oligochaetes. The percentage of crayfish in the food mass of rice field eels was the highest from April to August, with a maximum of 93.90% in August, and a minimum of (76.85±20.66)% in April. When crayfish was the only food, the average daily predation of each large-size eel (≥ 200 g) was (1.63±0.065) g; when crayfish, caridina and earthworms were used as food, the rice field eels mainly fed on crayfish and did not feed on earthworms with the selection indices were 0.066, -0.266 and -1.000, respectively, When the live crayfish and feed (fresh surimi and crayfish artificial compound) were used as food, the rice field eels were mainly fed on feed but not on crayfish with the selection indices were -0.846 and 0.591, respectively. The results of this study provide a theoretical basis for the establishment of rice-crayfish-eel co-culture model and reasonable stocking of eel under this model.

Key words: Rice field; Selection index; Rice-crayfish-eel; *Monopterus albus*; *Procambarus clarkii*