

鱼类放养对藕田节肢动物群落多样性的影响

马力¹, 朱捷¹, 陈琪¹, 李为^{2*}, 黄国华^{1*}

(1. 湖南农业大学植物保护学院, 湖南 长沙 410128; 2. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072)

摘要:为揭示鱼类放养对藕田节肢动物群落多样性的影响,于2014年4月至9月,对湖南武冈莲藕种植基地的3种鱼类(鲫鱼、鲤鱼、草鱼)5种放养密度下藕田的节肢动物种类组成、密度及多样性指数进行比较分析。结果显示:试验藕田共收集节肢动物9目32科61种,当放养鲫鱼、鲤鱼、草鱼分别为2400、2400、1200尾/hm²时,藕田内节肢动物种类最多,共21科44种,未放养鱼类时所得到的种类最少,为39种,节肢动物种类随着放养鱼类密度的增大而增加;各处理组中主要害虫亚群落均为莲缢管蚜、斜纹夜蛾和摇蚊类害虫,未放养鱼类时藕田内莲缢管蚜和摇蚊类害虫的数量均显著高于放鱼处理,斜纹夜蛾数量在各组间无显著性差异;主要天敌亚群落为拟水狼蛛及其他蜘蛛,其中未放养鱼类时拟水狼蛛的数量显著高于鱼类放养处理组,鱼类放养处理组的节肢动物群落多样性指数和均匀度指数均显著高于未放鱼处理组,但优势度指数则相反。群落相似性分析发现,未放鱼处理与鱼类放养处理各组间相似性最小。

关键词:鱼类放养;藕田生态系统;节肢动物群落多样性

中图分类号: Q145⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2016)01-0064-06

Effect of fish stocking density on diversity of arthropod community in lotus field

Ma Li¹, Zhu Jie¹, Chen Qi¹, Li Wei^{2*}, Huang Guohua^{1*}

(1. College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 439972, China)

Abstract: For the purpose of exploring the impact of fish stocking impact on the diversity of arthropod community in the lotus field ecosystem, community component, density and diversity indices of arthropod in lotus field at Wugang city, Hunan province, China were investigated from April to September in 2014 under five different fish (crucian, carp, grass carp) stocking applications. The results showed that in the experimental lotus field in which a total of 61 species of arthropod belonging to 32 families and 9 orders were collected, there were 44 species of arthropod belonging to 21 families in the fish-stocking field when crucian, carp, grass carp were stocked at 2400, 2400, and 1200 individuals/hm², which was the most; the species number of arthropod was 39 in the field with no-fish stocking, which was the least compared to other applications. The arthropod species increased with the increasing density of the stocking fish. *Rhopalosiphum nymphaeae*, *Prodenia litura* and Chironomidae were the major pests species under each applications, the amount of *Rhopalosiphum nymphaeae* and Chironomidae were markedly higher in fish-stocking fields than those in no-fishing stocking fields while the amount of *Prodenia litura* showed no significant difference among each applications, *Pirata subpiraticus* and other spiders acted as the primary natural enemies, and the amount of *Pirata subpiraticus* under no-fish stocking applications was significantly higher than those under fish stocking applications. Diversity and evenness indices in fish stocking applications were greatly higher compared to no-fishing stocking application, on the contrary advantage concentration was lower in fish stocking applications. Fish stocking applications showed the least similarity of arthropod community with no-fish application.

收稿日期: 2015-03-24

修回日期: 2015-10-14

基金项目: “十二·五”国家科技支撑计划项目(2012BAD27B02)

作者简介: 马力(1992—),女,湖南常德人,硕士研究生,主要从事水生蔬菜害虫综合治理研究, lily.m1106@gmail.com; *通信作者,黄国华,博士,教授,主要从事蔬菜害虫综合治理研究, ghhuang@hunau.edu.cn; 李为,博士,助理研究员,主要从事渔业生态学与水产增养殖学研究, liwei@ihb.ac.cn

Keywords: fish stocking; lotus field ecosystem; arthropod diversity

藕莲和子莲为中国重要水生经济作物,种植面积高达 $5.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ^[1]。藕莲是栽培面积最大的水生蔬菜^[2-3]。水田莲藕种植虫害较为严重,如藕田重要害虫莲藕食根金花虫,其幼虫潜入泥中,在莲藕根茎部取食汁液,严重降低莲藕的产量和品质,减产率达 15%~20%^[4]。藕田虫害已经成为制约莲藕产区生产发展的重要因素之一。

魏林等^[5]、陈金安等^[6]、张昌德等^[7]等分别对湖南、湖北、江苏莲藕产区虫害进行了调查,并针对不同害虫危害特点提出了不同的综合治理防治措施,但对藕田整个节肢动物群落缺乏完整系统的研究。害虫群落生态学是以作物为中心的害虫综合治理的理论基础^[8],利用生物与生物之间的相互作用达到控制病虫害的目的是农业生态系统的关注热点^[9-10]。要从根本上缓解藕田害虫压力,可通过增加藕田生态系统中的生物因子,改变单一生境的方法,提高藕田生态系统的生物多样性,发挥天敌的控害作用^[11]。稻田生态系统中利用物种多样性控制虫害的技术较为成熟,如稻鸭共作对田间稻纵卷叶螟防效为 97.1%,对稻飞虱防效为 90.9%^[12],稻鱼共作生态模式在田间也对白背飞虱、褐飞虱具有较好的控害效果,2 种害虫百丛虫量均下降 11.16%^[13]。藕田共生生态系统中仅有少量关于鱼类放养对莲藕食根金花虫防治效果的调查^[4],并未从群落生态学的角度出发系统探讨鱼类放养对藕田节肢动物群落的影响。在共生生态系统中,水生生物的放养密度是直接影响作物生长发育及产量的关键因素,因此,笔者对不同鱼类不同放养密度下藕田节肢动物群落的结构进行了调查和分析,并在藕田中加入“鱼”这一生物因子,旨在探究藕田不同鱼类、不同

放养密度下节肢动物的群落多样性特征,为合理布局莲藕栽培及藕田生态系统中害虫的可持续防控和良性循环提供科学依据,并寻求鱼藕共生最佳放鱼密度,着力探索有利于天敌,不利于害虫的生存条件,强化生态控制,以期集成一种水田莲藕生态高效种植模式。

1 材料与方法

1.1 试验藕田概况

选择湖南省武冈市莲藕种植基地的 15 块水田,总面积 1.78 hm^2 。试验前加高加固田埂,压紧压实,确保不塌不漏。在田块相对的两角分别设进、排水口,并设置 2 层拦鱼设施。沿藕田四周开挖宽 1.0 m、深 0.6 m 的鱼溜,田中挖“十”字型鱼沟,鱼沟宽约 0.8 m、深 0.5 m,且与鱼溜相通,鱼沟和鱼溜的总面积占整个藕田总面积的 20%。

1.2 藕田种养方案

莲藕品种为鄂莲 7 号。各田块单位面积的莲藕用种量保持一致(4.5 t/hm^2),于 2014 年 4 月 4 日栽种,5 月 22 日放养鲫、鲤、草鱼鱼种。试验设置 5 个处理组,每个处理设 3 个重复,分别在 3 个田块进行,且每个处理组不同鱼类放养的密度不同(表 1)。由于田块面积不一致,因此试验开始前抽签随机分配田块,以确定各田块的鱼类放养量。鱼种要求规格整齐、体格健壮、无病无伤,放养前进行严格的消毒,用质量分数为 3%~4% 的食盐水浸泡鱼体 10~15 min。试验过程中,藕田肥水管理按基地常规操作,莲藕生育期不施用任何农药。

表 1 鱼藕共生模式中藕田放鱼方案

Table 1 Stocking scheme in symbiotic mode of fish and lotus root

处理	放养密度/(尾· hm^{-2})			样地编号	样地面积/ hm^2	实放鱼数/尾		
	鲫鱼	鲤鱼	草鱼			鲫鱼	鲤鱼	草鱼
CK	0	0	0	G2	0.100 0	0	0	0
				G5	0.080 0	0	0	0
				G8	0.073 3	0	0	0
I	600	600	300	G7	0.173 3	104	104	52
				G9	0.120 0	72	72	36
				G11	0.106 7	64	64	32

表 1(续)

处理	放养密度/(尾·hm ⁻²)			样地 编号	样地面积/ hm ²	实放鱼数/尾		
	鲫鱼	鲤鱼	草鱼			鲫鱼	鲤鱼	草鱼
II	1 200	1 200	600	G6	0.186 7	224	224	112
				G10	0.073 3	88	88	44
				G13	0.120 0	144	144	72
III	1 800	1 800	900	G12	0.166 7	300	300	150
				G14	0.106 7	192	192	96
				G15	0.106 7	192	192	96
IV	2 400	2 400	1 200	G1	0.080 0	192	192	96
				G3	0.100 0	240	240	120
				G4	0.186 8	448	448	224

1.3 节肢动物群落调查方法

采用 5 点取样法,自放鱼后第 2 天(2014 年 5 月 23 日)至试验地藕叶枯萎(2014 年 9 月 19 日),每 7 d 调查 1 次,以所选择点为圆心,对直径 1 m 范围内的所有莲藕植株进行调查。观察记录整株莲藕水面以上部分叶片的节肢动物种类和数量。待莲藕立叶长出以后,将每个样点的植株分为上、中、下 3 个部位,对各类节肢动物拍照、编号和记录数量,并记录当日的天气状况。对照《中国水生蔬菜主要害虫彩色图谱》^[14]等,对节肢动物物种进行鉴定。

1.4 群落多样性分析方法

选用物种丰富度 S 、优势集中度指数 C 、多样性指数 H 、均匀度指数 J ^[15]和 Sorensen 群落相似性指数 C_j ^[16]比较节肢动物的群落多样性特征。

1.5 数据处理

每块样地 5 点取样的数据合并成 1 个样方,对

该样方内节肢动物个体数量进行统计。采用一元方差分析比较不同鱼类放养密度藕田节肢动物的群落多样性。采用 Tukey 检验进行多重分析比较不同处理组间各指标的差异性。

2 结果与分析

2.1 不同鱼类放养密度藕田节肢动物的种类及组成

调查结果表明,藕田节肢动物共 9 目 32 科 61 种,各处理组的物种数及所占该处理组中总物种数的比例列于表 2。各处理中以莲缢管蚜、斜纹夜蛾、拟水狼蛛、摇蚊类害虫及其他蜘蛛类为主要类群。方差分析(表 3)表明,CK 处理组(未放鱼组)莲缢管蚜、拟水狼蛛和摇蚊类害虫的数量均显著高于放鱼处理组($P < 0.05$)。处理组 III 的莲缢管蚜和摇蚊类害虫数量最少,处理组 I 的拟水狼蛛数量最少。斜纹夜蛾和其他蜘蛛类的数量在各处理间无显著性差异($P > 0.05$)。

表 2 不同处理藕田节肢动物群落的组成及其物种比例

目	科	物种数					比例/%				
		CK	I	II	III	IV	CK	I	II	III	IV
半翅目	粉蚧科	1	1	1	1	1	2.56	2.50	2.44	2.50	2.27
	蚜科	1	1	1	1	1	2.56	2.50	2.44	2.50	2.27
	飞虱科	2	2	2	3	3	5.13	5.00	4.88	7.50	6.82
	盲蝽科	0	1	0	0	0	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00
	叶蝉科	0	0	1	0	0	0.00	0.00	2.44	0.00	0.00
鳞翅目	卷蛾科	1	1	1	1	1	2.56	2.50	2.44	2.50	2.27
	夜蛾科	2	2	3	2	2	5.13	5.00	7.31	5.00	4.55
	螟蛾科	1	2	2	1	0	2.56	5.00	4.88	2.50	0.00
	尺蛾科	0	1	0	0	0	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00
脉翅目	草蛉科	0	0	0	0	1	0.00	0.00	0.00	0.00	2.27
蜻蜓目	豆娘科	1	1	1	1	1	2.56	2.50	2.44	2.50	2.27
	蜓科	0	0	0	0	1	0.00	0.00	0.00	0.00	2.27
直翅目	蚱科	0	1	0	0	0	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00
蜉蝣目	四节蜉科	1	0	1	1	0	2.56	0.00	2.44	2.50	0.00
鞘翅目	瓢甲科	2	1	2	2	4	5.13	2.50	4.88	5.00	9.09
	叶甲科	1	1	1	1	0	2.56	2.50	2.44	2.50	0.00
	负泥虫科	1	0	0	0	0	2.56	0.00	0.00	0.00	0.00

表 2(续)

目	科	物种数					比例/%				
		CK	I	II	III	IV	CK	I	II	III	IV
双翅目	隐翅虫科	1	0	1	0	0	2.56	0.00	2.44	0.00	0.00
	象甲科	0	0	0	1	0	0.00	0.00	0.00	2.50	0.00
	茎蝇科	1	0	1	1	1	2.56	0.00	2.44	2.50	2.27
	刺股蝇科	0	1	0	1	1	0.00	2.50	0.00	2.50	2.27
	粪蝇科	1	0	0	0	1	2.56	0.00	0.00	0.00	2.27
	麻蝇科	0	0	0	0	1	0.00	0.00	0.00	0.00	2.27
	长足虻科	1	1	1	1	1	2.56	2.50	2.44	2.50	2.27
	食蚜蝇科	2	0	0	1	2	5.13	0.00	0.00	2.50	4.55
蜘蛛目	摇蚊科	11	14	15	13	13	28.21	35.00	36.58	32.50	29.55
	蚊科	2	2	0	1	1	5.13	5.00	0.00	2.50	2.27
	皿蛛科	1	1	1	1	1	2.56	2.50	2.44	2.50	2.27
	狼蛛科	2	2	2	2	2	5.13	5.00	4.88	5.00	4.55
	肖蛸科	2	3	3	3	3	5.13	7.50	7.31	7.50	6.82
	球腹蛛科	1	1	1	1	1	2.56	2.50	2.44	2.50	2.27
	蟹蛛科	0	0	0	0	1	0.00	0.00	0.00	0.00	2.27
	合计	39	40	41	40	44	99.96	100	100	100	99.98

比例为各科物种数占该处理组中物种总数量的百分比。

表 3 不同放鱼密度的藕田节肢动物主要类群数量

Table 3 Quantity of dominant arthropod group in lotus field under different stocking density treatments

处理	类群数量				
	莲缢管蚜	斜纹夜蛾	拟水狼蛛	摇蚊类	其他蜘蛛
CK	(4 143.0±96.2)a	691.7±75.6	(265.0±49.5)a	(762.0±13.3)a	216.3±20.1
I	(3 023.3±300.7)b	645.7±27.7	(124.0±29.4)b	(563.7±32.4)b	223.0±14.0
II	(3 346.3±153.5)c	627.0±57.2	(152.0±48.8)b	(567.0±12.1)b	228.3±27.0
III	(2 734.3±129.2)b	594.7±30.6	(124.7±17.1)b	(519.0±20.9)b	225.0±15.9
IV	(2 922.0±123.7)b	601.0±43.8	(130.3±10.0)b	(541.7±42.9)b	226.0±14.7

同列数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$, Tukey 氏 HSD 检验), 下同。

2.2 不同鱼类放养密度藕田节肢动物群落功能团的比较

将藕田节肢动物群落划分为植食性、捕食性及其他功能群落。植食者包含有刺吸类和咀嚼类, 捕食者则包括了捕食性昆虫和蜘蛛, 其他功能群指完全变态发育不取食莲藕的昆虫成虫, 如鳞翅目昆虫成虫。不同鱼类放养密度下藕田节肢动物各功能团的类群和比例列于表 4。CK 处理组中, 植食性节肢

动物物种数所占比例最低; 处理 IV 组中捕食性节肢动物物种数和比例均最高。刺吸类昆虫在各处理组数量上均占优势, 其占总数的比例在 CK 处理组最低, 在 II 处理组最高。咀嚼类昆虫在处理组 IV 数量最少, 在其余各处理组数量相对较多。蜘蛛物种数在各组间相差小, 其他功能类群在不同放鱼密度下的差异较小。

表 4 不同放鱼密度藕田节肢动物营养功能群数(种)及其所占比例

Table 4 Number of functional group of arthropods and its proportion under different stocking density treatments

功能团	类群	物种数					比例/%				
		CK	I	II	III	IV	CK	I	II	III	IV
植食者	刺吸类	15	19	20	18	18	38.46	47.50	48.78	45.00	40.91
	咀嚼类	5	6	5	5	3	12.82	15.00	12.20	12.50	6.82
捕食者	捕食性昆虫	7	3	5	5	10	17.95	7.50	12.20	12.50	22.73
	蜘蛛	6	7	7	7	8	15.38	17.50	17.07	17.50	18.18
其他		6	5	4	5	5	15.38	12.50	9.76	12.50	11.36

2.3 不同放鱼密度藕田节肢动物群落的多样性指数

各处理组节肢动物的群落多样性、均匀性和群落生态优势度指数见表 5。放鱼处理组节肢动物的

多样性指数和均匀度指数显著高于未放养鱼类处理组优势度指数则相反。

表5 不同放鱼密度藕田节肢动物多样性指数

处理	多样性指数	均匀度指数	优势度指数
CK	(1.32±0.02)a	(0.39±0.01)a	(0.49±0.01)a
I	(1.56±0.01)b	(0.45±0.01)bc	(0.39±0.01)bc
II	(1.52±0.02)c	(0.45±0.04)c	(0.38±0.05)c
III	(1.65±0.03)b	(0.47±0.01)b	(0.37±0.01)b
IV	(1.66±0.03)b	(0.47±0.03)b	(0.37±0.01)b

2.4 藕田节肢动物群落的相似性

不同鱼类放养密度处理组的节肢动物群落相似性分析结果(表6)表明,CK和处理组I相似性系数最低(0.73),处理组II和处理组III相似性系数最高,为0.88。CK与其他处理组相比相似性较小,说明其与其他处理组差异性较大;而处理组III与其他处理组相似性系数较高,则说明其与其他处理组差异性最小。

表6 不同放鱼密度藕田节肢动物群落的物种相似性指数

处理	节肢动物群落 C_j				
	CK	I	II	III	IV
CK	1.00	0.73	0.78	0.81	0.77
I	0.73	1.00	0.83	0.85	0.76
II	0.78	0.83	1.00	0.88	0.78
III	0.81	0.85	0.88	1.00	0.86
IV	0.77	0.76	0.78	0.86	1.00

不同处理组之间的害虫物种相似性均高于节肢动物群落的物种相似性(表7),CK与其余各处理组的相似性最大值(处理III, $C_j=0.84$)仍小于其余各处理间的相似性,因此CK害虫群落与其他处理差异性最大。不同处理组间的天敌相似性差异较大

表7 不同放鱼密度藕田节肢动物群落中害虫亚群落的物种相似性指数

处理	害虫亚群落 C_j				
	CK	I	II	III	IV
CK	1.00	0.80	0.80	0.84	0.83
I	0.80	1.00	0.88	0.86	0.87
II	0.80	0.88	1.00	0.88	0.87
III	0.84	0.86	0.88	1.00	0.95
IV	0.83	0.87	0.87	0.95	1.00

(表8),最大系数为处理组II与处理组III,为0.92,而最高放鱼密度组(处理III)与各组间的相似性均未超过0.80。

表8 不同放鱼密度藕田节肢动物群落中天敌亚群落的物种相似性指数

处理	天敌亚群落 C_j				
	CK	I	II	III	IV
CK	1.00	0.78	0.80	0.80	0.77
I	0.78	1.00	0.90	0.90	0.71
II	0.80	0.90	1.00	0.92	0.73
III	0.80	0.90	0.92	1.00	0.80
IV	0.77	0.71	0.73	0.80	1.00

3 讨论

物种多样性作为表征群落学的重要指标,与生态系统的功能过程紧密相关^[17]。对鱼类放养条件下藕田生境中节肢动物群落结构及其多样性进行的调查分析表明,与不放鱼对照组相比,鱼类放养对节肢动物功能团的物种丰富度无显著性影响。尽管如此,鱼类放养对藕田主要害虫斜纹夜蛾、莲缢管蚜和摇蚊类害虫起到了明显的抑制作用。从物种多样性来看,鱼类放养处理组的多样性指数和均匀度指数均显著高于对照组,说明鱼类放养使藕田生态系统具有了更高的稳定性,且物种多样性较高伴随着较低的优势度指数,节肢动物优势种占有比例相对较小。从物种相似度来看,对照组与其他处理组中相似度最低,鱼类放养密度较高处理(处理组III)与其他组相似度最高,因此鱼类放养藕田的物种组成相对更加稳定。

不同放鱼密度藕田的节肢动物营养功能群结构也会发生变化,放鱼处理的藕田植食性节肢动物的种类数量更多,这可能是由于斜纹夜蛾等主要害虫数量的降低,减少了其他植食性节肢动物对食物的竞争。捕食性类群作为蔬菜害虫的主要天敌,是抑制藕田害虫的关键因素,同时也是保护藕田蔬菜的重要类群。

藕田作为一种水生生态系统,对土壤要求高,造成了其不同于其他陆地生态系统的差异,摇蚊类等双翅目昆虫在各鱼类放养密度下的比例均远高于其他农业生态系统,这可能与双翅目昆虫幼虫的

生长发育更适应于水生环境相关。

与覃春华等^[18]调查结果相似,物种数量较多的种类如斜纹夜蛾、莲缢管蚜等均以较高的比例出现在不同鱼类放养密度的藕田中,说明放鱼密度对藕田生态系统中节肢动物的群落组成基本无影响。影响水生生物的因素很多,如光强、溶解氧、酸碱度、营养水平、水体微生物等的作用^[20-22]。从被影响的种群类群来看,莲缢管蚜和拟水狼蛛活动区域距离水面较近,而摇蚊类害虫一直生活在水中,放鱼处理对这种物种数量的影响很有可能是由于直接取食造成的。

鱼藕混养作为一项健康友好的无公害综合农业技术,具有显著的生态、经济和社会效益,一直受到广泛关注和应用^[23-24],但技术仍然不成熟。鱼藕共生生态系统是一个动态的系统,会随着饲养鱼类的生长发育而变化。笔者在研究不同鱼类放养密度下节肢动物多样性时,并没有充分研究藕田生态系统中鱼类的动态变化。在后续对该系统的探索中,应当考虑整个生态系统各个组成部分,结合共生环境、水生动植物、莲藕生长及鱼类生活生长发育习性,系统地了解该共生模式下的动态变化,为鱼藕混养提供理论指导价值,促进鱼藕共生模式的推广和应用,达到生态和效益双管齐下的目的。

参考文献:

- [1] 柯卫东,黄新芳,李建洪,等.我国水生蔬菜科研与生产发展概况[J].长江蔬菜,2015(14):33-37.
- [2] Mukherjee P K ,Mukherjee D ,Maji A K ,et al .The sacred lotus(*Nelumbo nucifera*)phytochemical and therapeutic profile[J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology ,2009 , 61 : 407-422 .
- [3] Li Y ,Smith T ,Yang J ,et al .Paleobiogeography of the lotus plant(*Nelumbonaceae* : *Nelumbo*) and its bearing on the paleoclimatic changes[J]. Palaeogeography ,Palaeoclimatology , Palaeoecology , 2014 , 399 : 284-293 .
- [4] 沈汉庭,吉桂山,顾茂才,等.鱼藕共生生态工程增益减耗效果研究[J].农村生态环境,2001,17(3):17-20.
- [5] 魏林,梁志怀,成燕清,等.湖南莲藕主要病虫害及其综合防治[J].长江蔬菜,2012(16):118-120.
- [6] 陈金安,吕环照,王启军.莲藕病虫害综合治理技术规程[J].江苏农业科学,2006(1):66.
- [7] 张昌德,田晓刚,蒋祝海.莲藕病虫害的发生及防治对策[J].上海蔬菜,2008(1):82.
- [8] 尤民生,刘雨芳,侯有明.农田生物多样性与害虫综合治理[J].生态学报,2004,24(1):117-122.
- [9] Reganold J P , Glover J D , Andrews P K , et al . Sustainability of three apple production systems[J]. Nature , 2001 , 410 : 926-930 .
- [10] Mäder P ,Fließbach A ,Dubois D ,et al .Soil fertility and biodiversity in organic farming[J]. Science , 2002 , 296 : 1694-1697 .
- [11] Altieri M A , Letourneau D K . Vegetation management and biological control in agroecosystems[J]. Crop Protection , 1982 , 1(4) : 405-430 .
- [12] 沈培清.稻鸭共作在高产地区的应用效果与技术[J].中国稻米,2005(6):35-37.
- [13] 刘昌权.稻田生态渔业区病虫害发生规律[J].贵州农业科学,2005,33(4):56-58.
- [14] 黄国华,李建洪.中国水生蔬菜主要害虫彩色图谱[M].武汉:湖北科学技术出版社,2013.
- [15] Colinvaux P . Strategies of species population[J]. Ecology , 1986 , 241 : 268 .
- [16] Sorensen T . A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons[J]. Biol Skr , 1948 , 5 : 1-34 .
- [17] 熊川,李小林,李强,等.羊肚菌菌塘土壤细菌群落的结构及多样性[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2015,41(4):428-434.
- [18] 覃春华,姚亮,陈冲,等.武汉地区水生蔬菜昆虫群落结构及动态分析[J].昆虫知识,2010,47(1):76-81.
- [19] 韩茂森.中国淡水生物图谱[M].北京:海洋出版社,1995.
- [20] 刘蔚秋,王永繁,徐润林.生物防治稻田与普通稻田水体中浮游植物的生态特征研究[J].应用生态学报,2001,12(1):59-62.
- [21] Madoni P . Colonization and seasonal succession of the ciliated protozoa populations in a rice field ecosystem[J]. Acta Oecologica/Oecologia Generalis ,1987 , 8 : 511-522 .
- [22] 熊丽,谢丽强,生秀梅.湿地中的藻类生态学研究进展[J].应用生态学报,2003,14:1007-1011.
- [23] Edwards P . Use of terrestrial vegetation and aquatic macrophytes in aquaculture[C]//Moriarty D J W ,Pullin R S V . Detritus and Microbial Ecology in Aquaculture. Manila : International Center for Living Aquatic Resources Management , 1987 : 311-335 .
- [24] Yang Y , Lin C K , Diana J S . Recycling pond mud nutrients in integrated lotus-fish culture[J]. Aquaculture , 2002 , 212 : 213-226 .

责任编辑:罗慧敏

英文编辑:罗维