

郭瑶,肖求清,曹凑贵,等.稻虾共作对稻田杂草群落组成及物种多样性的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(2):17-24.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.02.003

稻虾共作对稻田杂草群落组成及物种多样性的影响

郭瑶¹,肖求清¹,曹凑贵^{1,2},江洋¹,袁鹏丽¹,孙自川¹,刘卿君¹,汪金平¹

1.华中农业大学植物科学技术学院/双水双绿研究院,武汉 430070;

2.主要粮食作物产业化湖北省协同创新中心,荆州 434025

摘要 为探究稻虾共作对稻田杂草群落组成及物种多样性的影响,运用植物群落生态学的方法,通过调查区域在1 a(RC1)、2 a(RC2)、4 a(RC4)和9 a(RC9)等4个不同稻虾共作年限稻田和1 a小区控制试验稻田(CK)田面和田埂杂草物种数变化、杂草数量变化以及杂草盖度变化,研究不同稻虾共作年限稻田杂草的群落变化特点及控草效果。结果显示:稻虾共作稻田的杂草生物多样性指标随年限增长表现出先降低后增加的趋势,CK的Simpson指数和Shannon多样性指数杂草优势度显著高于稻虾处理,RC4处理最低。Pielou均匀度指数RC9处理显著高于其他年限稻虾田,但与CK处理无显著差异。随稻虾共作年限的增加,稻田杂草总数表现出先降低后增加的趋势,均显著低于CK处理。不同种杂草的重要值(importance value, *I*值)随稻虾共作年限增长呈现不同的规律,千金子、稗草、双穗雀稗和飘拂草的*I*值随年限增加先降低后增加,通泉草、空心莲子草、鳢肠、鸭舌草等的*I*值在稻虾共作稻田中表现出小于水稻单作稻田并逐年降低的规律。在大田控制试验中,经过1 a稻虾共作模式后,稻田田内和田埂的杂草物种数、杂草个体数和盖度均显著降低。结果表明:短期稻虾共作对稻田杂草的抑制作用明显,长期的稻虾共作会逐步形成新的杂草群落结构,需要采取对应的杂草防控措施。

关键词 稻虾共作;稻田种养;生态农业;稻田;杂草;群落结构;生物多样性;绿色防控

中图分类号 S 511 : S 966.1; S 451.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2020)02-0017-08

作为农田生态系统中重要的生物成分之一,杂草对水稻生长发育和产量有较大的影响^[1]。目前,国内在杂草防治上主要靠大面积喷洒化学除草剂,由此带来了一系列与环境污染、杂草抗药性、农产品残留毒性相关的严重问题^[2-3]。

稻虾共作是将水稻种植和小龙虾养殖有机结合的一种新型生态农业模式,该模式通过在稻田开挖环形养殖沟为小龙虾营造一个适宜的水体环境,可在水稻种植期间养殖小龙虾,沟田相通,实现稻虾共作,非稻季则覆水养虾,提高稻田光温资源利用率,具有很好的生态、经济和社会效益^[4-6]。小龙虾作为一种杂食性甲壳类动物^[7],其对稻田杂草和害虫的扰动和取食,对稻田杂草具有一定的减除作用,从而减少稻田农药喷施,减轻农药对环境和稻米的污染^[8]。研究表明,千金子、稗草、鳢肠、异型莎草等多种主要杂草在稻虾共作模式中的发生频度较水稻单

作模式均有所降低^[9]。稻虾共作是一种新型的稻田种养模式,但是缺乏长期的调查研究数据,关于不同稻虾年限对于稻田杂草群落多样性的相关研究甚少^[10]。本研究通过调查潜江市稻田养虾模式的杂草发生状况,探究不同稻虾共作年限稻田杂草群落结构组成与物种多样性的变化,旨在为不同稻虾共作年限的稻田杂草防治技术提供理论指导,促进稻虾共作模式可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2015—2016年在湖北省潜江市(30°23'N, 112°58'E)进行,区域调查试验地点位于潜江市白鹭湖农场关山分场,小区控制试验地点位于潜江市后湖农场三分场军垦队。潜江市位于湖北省中南部江汉平原腹地,境内地势较为平坦,属北亚热带季

收稿日期:2019-07-02

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(2662018YJ024);国家重点研发计划专项(2018YFD0301304);湖北省生态循环农业创新体系项目

郭瑶,硕士研究生.研究方向:作物栽培学与耕作. E-mail: 475219694@qq.com

通信作者:汪金平,博士,副教授.研究方向:稻田生态. E-mail: wangjp@mail.hzau.edu.cn

风性湿润气候,年平均气温 16.1℃,活动积温($\geq 10^\circ\text{C}$ 的年累积温度)为 5 125℃,年平均日照时数 1 949~1 988 h,年均降水量 1 100 mm,无霜期 250 d,主要土壤类型为湖积物发育而成的潮土性水稻土。

1.2 试验设计与田间管理

1)区域调查试验。2015 年在潜江市白鹭湖农场关山分场开展不同稻虾共作年限稻田杂草生物多样性区域调查试验。选择水稻单作(CK)、稻虾共作 1 a(RC1)、稻虾共作 2 a(RC2)、稻虾共作 4 a(RC4)和稻虾共作 9 a(RC9)等 5 种不同处理,3 次重复,共 15 块样地。在调查样地中,所有样地稻田面积大于 6 670 m²,水稻品种为黄华占,水稻栽插方式为机插秧,每 667 m²栽插密度 1.2 万~1.3 万穴,机插时间在 6 月 15—25 日。稻虾田环形养殖沟宽约 4 m,深 1.2 m 左右,其他水肥药管理与当地稻虾管理基本一致。

2)小区控制试验。小区控制试验地在潜江市后湖农场三分场军垦队,试验前土壤基本理化性质为,pH 值 7.12,有机质 26.43 g/kg,全氮 2.41 g/kg,全磷 0.44 g/kg,全钾 19.0 g/kg。供试水稻品种为泰优 390。共设稻虾共作和水稻单作 2 个处理,每个处理 3 次重复,共 6 个小区,每个小区面积为 1 000 m²。

稻虾共作处理于 2015 年 4 月在每个小区四周开挖宽 2 m、深 1.2 m 的环形养殖沟,筑高出田面 0.3 m、宽 0.5 m 的内埂,便于田面水肥管理。水稻机插秧时间于 6 月 18 日进行,6 月 26 日按 300 kg/hm²的标准投放小龙虾幼苗,虾苗适应环境后在环形沟内投放配合饲料。2015 年饲料投放时间为 7 月 1 日到 8 月 15 日,饲料投放量 450 kg/hm²,2016 年饲料投放时间为 4 月 14 日到 5 月 27 日,饲料投放量 1 350 kg/hm²。2016 年 5 月 28 日开始稻田退水准备进行水稻移栽,6 月 17 日移栽水稻。2015 年水稻施肥量为 N 180 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 180 kg/hm²,其中氮肥按 $m_{\text{基肥}} : m_{\text{蘖肥}} : m_{\text{穗肥}} = 5 : 3 : 2$ 进行施肥,磷钾肥则做基肥一次性施用;2016 年降低了施肥总量,按 N 150 kg/hm²、P₂O₅ 70 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm²用量进行施肥。水稻种植期水分管理按常规方式进行,非稻季则处于覆水状态,进行小龙虾养殖。所有小区的杂草没有进行药剂和人工处理。

1.3 测定项目及方法

1)稻田杂草调查。区域调查试验稻田于 2015 年 8 月 10—20 日进行,采用七级目测法^[11],每块稻

虾共作样地调查 15 个样方,在田内、田埂和环形沟各随机选择 5 个样方,每样方面积 1 m²;每块水稻单作样地调查 10 个样方,在田内和田埂各随机选择 5 个 1 m²样方。小区控制试验稻田于 2016 年 8 月 10—15 日进行,在各小区田内和田埂各随机选择 5 个 1 m²的样方。记录样方中杂草的种类以及各种杂草的个体数和盖度(投影面积/样方面积)。

2)相关多样性指标的选择与计算。利用物种丰富度指数(richness index, R)、Simpson 优势度指数(D)、Shannon-Weiner 多样性指数(H)和 Pielou 物种均匀度指数(J)等指标进行杂草生物多样性的分析,采用重要值(importance value, I)作为评价单个杂草物种的综合指标^[12-13]。测算公式如下:

$$R = S \quad (1)$$

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (2)$$

$$H = -\lg N \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i) \quad (3)$$

$$J = \left(- \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \right) / \ln S \quad (4)$$

$$I = D_R + F_R + C_R \quad (5)$$

式中, S 为每一样方中包含的所有杂草的种类数; N 为每一样方中所有物种总个体数; P_i 为第 i 物种的个体数占样方所有物种总个体数的比例; D_R 为相对密度,即样方中某种杂草的密度占所有杂草总密度的比例,%; F_R 为相对频度,即样方中某种杂草的频度占所有杂草频度的比例,%; C_R 为相对盖度,即样方中某种杂草的盖度占所有杂草总盖度的比例,%。

1.4 数据分析

运用 Microsoft Excel 2010 进行数据处理,使用 Statistix 9.0 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 稻虾共作不同年限杂草生物多样性

1)稻田杂草科、属、种。由图 1 可知,2015 年在潜江市白鹭湖农场全部 15 个样地 210 个 1 m²样方共调查到杂草 60 种,隶属于 23 科 49 属,其中主要有禾本科、莎草科、菊科、蓼科和苋科,分别占物种总数的 21.7%、15.0%、8.3%、8.3%和 6.7%。

2)稻虾共作不同年限对稻田杂草物种多样性指标的影响。由图 2 可见,从表征优势度指数的 Simpson 指数来看,CK 处理的杂草优势度最高,与其他处理差异显著,RC4 处理的杂草优势度最低,

Shannon 多样性指数表现出相同的规律。从 Pielou 均匀度指数来看,RC9 处理的均匀度最高,显著高于其他稻虾稻田,与 CK 处理无显著差异。

由图 3 可知,随着稻虾共作年限的增加,田内和环形沟的 Simpson 指数呈现先降低后增加的趋势,其中,RC1 最高,RC2 最低,且两者之间差异显著;而田埂杂草的 Simpson 指数随年限增加呈上升趋势

势,RC4 最高,与其他处理差异显著,RC1 最低。田内和环形沟杂草的 Shannon-Weiner 指数都随年限增加呈现先降低后增高的趋势,而 RC1 田埂杂草的 Shannon-Weiner 指数最低,与其他处理差异显著。田内、田埂和环形沟的 Pielou 均匀度指数都随年限增加呈现先降低后增高的趋势,均匀度提高,稻田优势种杂草在田间的危害减弱。

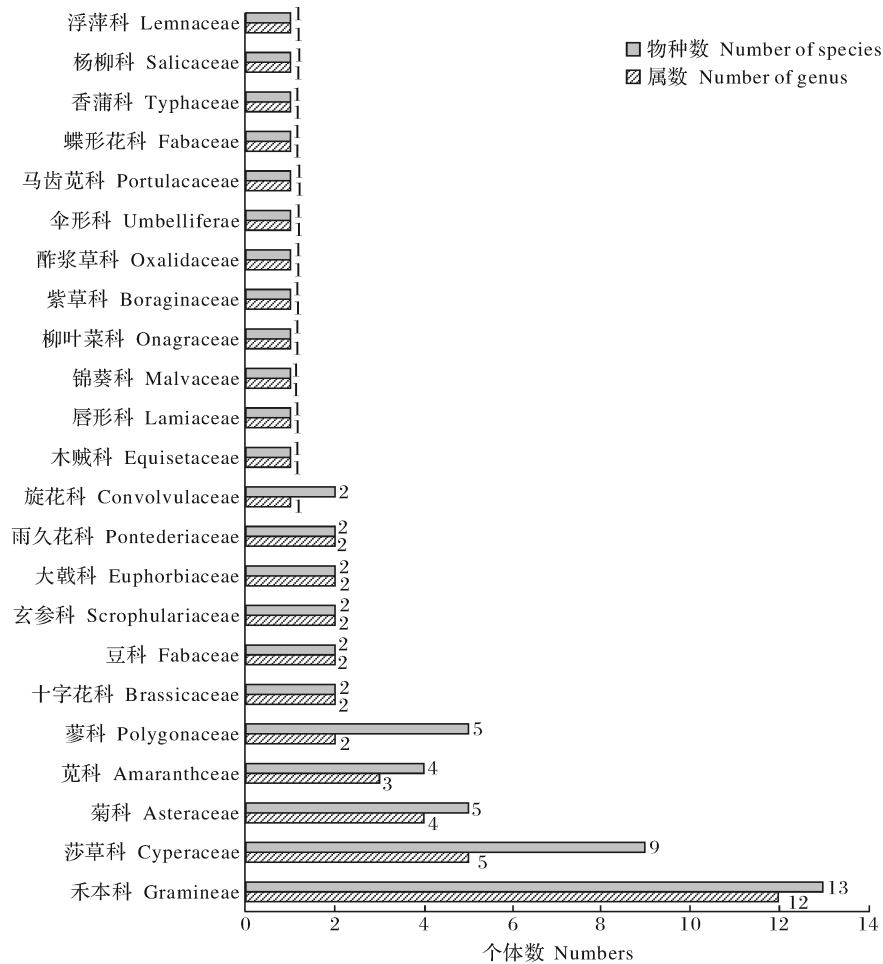
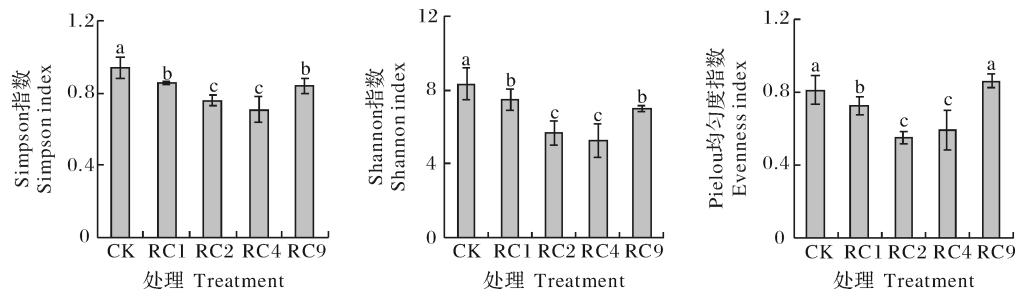


图 1 样地稻田杂草科、属、种

Fig.1 The family,genus and species of weeds in all plots



不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$),下同。Different lowercase letters indicate significant difference between treatments at 0.05 level. Same as below.

图 2 稻虾共作不同年限稻田杂草群落物种多样性

Fig.2 Species diversity of weed community in paddy field in different rice-crayfish co-culture years

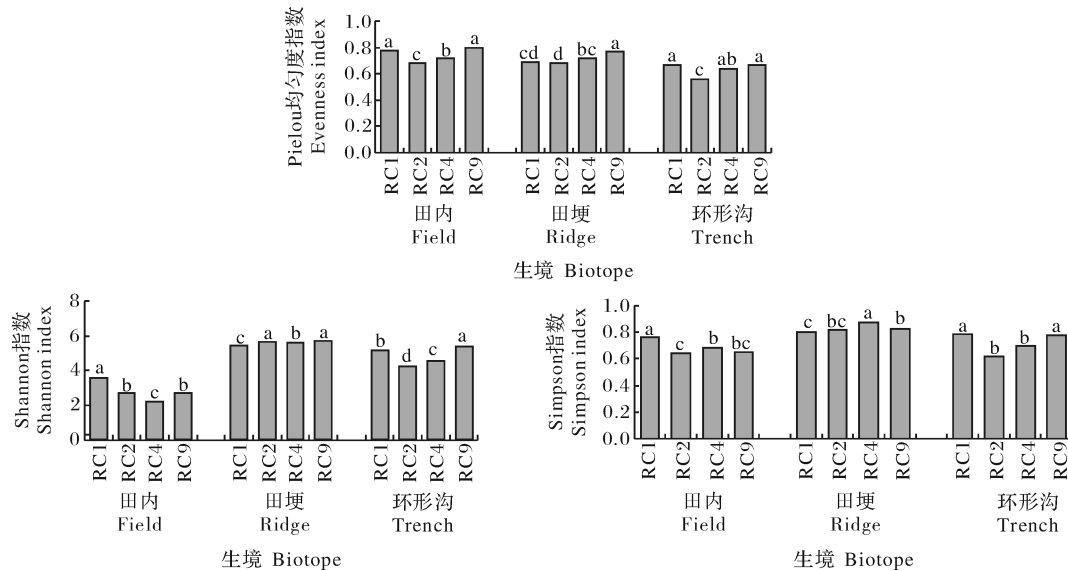


图 3 稻虾共作不同年限稻田不同生境杂草群落物种多样性

Fig.3 Species diversity of weed community of different biotope in different rice-crayfish co-culture years

3) 稻虾共作不同年限对稻田杂草数量的影响。部分杂草数量减少,如稗草、通泉草、空心莲子草、鳢肠等。从不同稻虾共作年限稻田杂草总数(图 4)对比可知,随着稻虾共作年限的增加,杂草总数表现出先降低后增加的趋势,均显著低于 CK 处理。CK 稻田杂草总数为 57.8 株/ m^2 , RC1、RC2、RC4、RC9 处理稻田杂草总数分别较 CK 降低了 19.9%、35.82%、59.00%、16.44%。

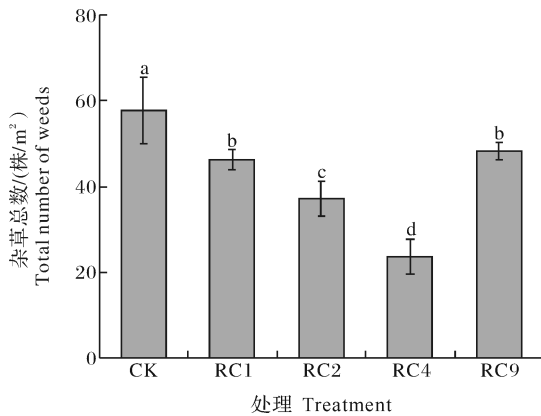
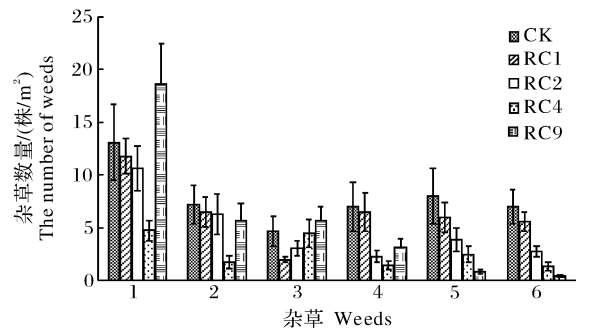


图 4 稻虾共作不同年限稻田杂草总数

Fig.4 Total weeds in rice-crayfish co-culture system in different years

从稻虾共作不同年限稻田杂草数量变化(图 5)可知,随着稻虾共作年限的增加,通泉草、鳢肠表现出一直减少的趋势;千金子、稗草、莎草、空心莲子草的数量表现出减少后又增加的趋势。随着稻虾共作年限的继续增加,部分杂草较水稻单作处理在稻虾共作 9 a 时数量增加,如千金子和莎草;还有



1. 千金子 *Leptochloa chinensis*; 2. 稗草 *Echinochloa crusgalli*; 3. 莎草 *Cyperus rotundus*; 4. 空心莲子草 *Alternanthera philoxeroides*; 5. 通泉草 *Mazus japonicus*; 6. 鳢肠 *Eclipta prostrata*.

图 5 不同稻虾共作年限稻田杂草数量变化

Fig.5 Changes of weeds number in paddy field with different rice-shrimp co-culture years

4) 不同稻虾共作年限对稻田杂草优势种的影响。由图 6 可知,在调查的所有稻田中,主要优势种杂草为千金子和稗草,也是出现频率和发生数量最多的 2 种杂草。不同种杂草的 I 值随稻虾共作年限越长呈现不同的规律,千金子的 I 值表现为 $\text{RC9} > \text{CK} > \text{RC1} > \text{RC2} > \text{RC4}$,稗草的 I 值表现为 $\text{CK} > \text{RC9} > \text{RC1} > \text{RC4} > \text{RC2}$,都表现为随年限增加先降低后增加的规律,双穗雀稗和飘拂草也表现出类似的规律,其他多数杂草的 I 值在稻虾共作稻田中也表现出小于水稻单作稻田并逐年降低的规律,如通泉草、空心莲子草、鳢肠、鸭舌草等。

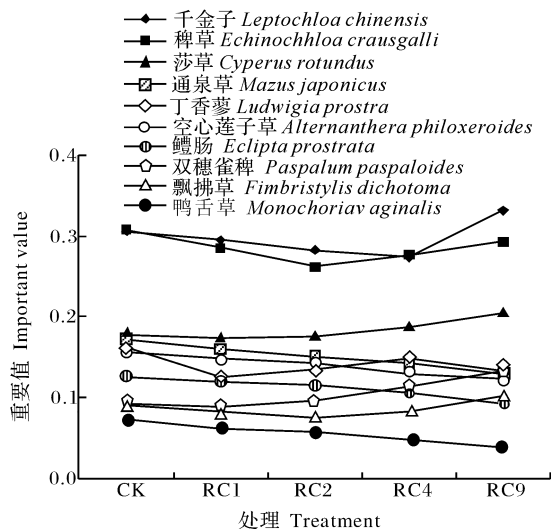


图 6 稻虾共作不同年限稻田主要杂草重要值变化

Fig.6 Importance value of major weeds in different rice-crayfish co-culture years

2.2 短期稻虾共作对稻田杂草性状的影响

由小区控制试验结果(表 1)可知,与 CK 相比,RC 处理田内和田埂的杂草物种数分别减少了 54.5% 和 33.3%,均极显著降低;田内和田埂的杂草个体数均极显著降低,分别减少了 50.5% 和 50.6%;田内杂草盖度极显著降低,田埂杂草盖度显著降低,分别减少了 62.6% 和 28.4%。

表 1 小区控制试验田内和田埂杂草性状比较

Table 1 Comparison of weed characteristics between field and ridge in plot control experiment

处理 Treatment	田内 Field		田埂 Ridge	
	CK	RC	CK	RC
物种丰富度 Species richness	11A	5B	24A	16B
个体数 Number of individuals	42.53A	21.07B	87.2A	43.07B
盖度/% Coverage	55.9A	20.9B	97.2a	69.6b

注:不同大写字母表示处理间差异极显著($P < 0.01$)。Note: Different uppercase letters indicate significant difference between treatments at 0.01 level.

3 讨论

稻田杂草是造成水稻减产的最大影响因素之一,杂草危害使全世界水稻减产 10.8%^[14-15]。作为作物的伴生生物,农田杂草与作物竞争资源的同时也影响着农田生态系统的发展^[16-19]。稻田主要杂草如稗草、千金子等的抗药性问题越来越严重,使用除

草剂后水稻叶子枯黄,而杂草仍旧猖獗,如何做到在不伤害水稻的前提下提高杂草防除效果,是我国稻田除草剂发展所面临的困境,应用生物多样性方法进行稻田杂草的防治是行之有效的办法^[1,14,16]。

稻田综合种养正是从生态学的角度通过在稻田食物链中增加水产(禽)动物来减轻杂草危害^[1,20]。在稻鱼系统中,鱼会取食稻田青萍、紫萍、浮游植物等,这些资源部分经鱼消化吸收后被同化,部分以排泄物的形式将养分归还稻田,在实现杂草防控的同时促进了养分的循环利用^[21]。在稻鸭模式中,鸭的活动起到了中耕作用,浑水影响杂草的发芽、生长,刺激水稻生长、增加水稻的竞争优势,田间杂草密度显著降低,与单一种植水稻比较,防效为 94%,田间杂草物种多样性降低,群落均匀度增加,改变了田间杂草的群落结构,有利于限制杂草的发生、生长与危害^[22-24]。在稻蟹模式中,河蟹对杂草种子、萌芽籽和嫩芽均能取食,稻蟹共生不投饵田的稻田杂草的株防效和鲜质量防效均可达 50% 以上,稻田多年养殖河蟹,甚至无须使用除草剂除草^[25-26]。在稻虾模式中,稻虾共作对稻田中主要杂草,包括稗草、异型莎草、鸭舌草、陌上菜及水苋菜等都有良好的控制作用^[9,27]。本研究结果表明,稻田中出现频率和发生数量最多的优势种杂草主要是千金子和稗草,在稻虾共作各个年限中均占主要地位。稻虾共作会改变某些杂草在稻田植物中的优势程度,相比水稻单作模式,千金子、莎草、双穗雀稗和飘拂草在长期稻虾共作条件下优势程度增加,其他如稗草、通泉草、空心莲子草、鳢肠、鸭舌草等优势程度减少。

稻田种养年限也会对稻田杂草多样性产生影响^[28-29]。Li 等^[29]在经过连续 9 a 稻鸭共作后发现,稻田杂草种类减少,杂草密度显著下降。在本研究中,随稻虾共作年限的增加,杂草生物多样性随年限增长表现出先降低后增加的趋势,在稻虾共作 4 a 时杂草多样性最低,稻虾共作 9 a 稻田杂草优势度、多样性指数、均匀度得以回升,田间杂草更趋于均匀分布。这与稻鸭、稻鱼等结果不尽相同,究其原因,可能与小龙虾的活动习性及其稻虾模式有关^[21-24]。在稻鸭、稻鱼共作模式中,在水稻生育期内鸭和鱼长期在稻田活动,对杂草进行踩踏或取食;而小龙虾不耐高温,在水稻生育期内多数小龙虾已出售,剩下留种

的部分多在环形沟中活动(或打洞),可见,稻虾共作稻田杂草多样性的变化更多可能是因为稻虾共作生态环境的变化。

本研究发现,稻虾共作4 a(RC4)杂草种类和数量最少,这可能有两方面的原因,一方面,稻田生态环境的改变使一些不适应环境的杂草生存能力降低,从当年水稻收获到次年开始水稻种植期间,稻田覆水进行小龙虾养殖,长时间的深水环境使一些杂草种子失去发芽能力,限制了田面及田埂上的杂草生长,减少了翌年杂草的发生基数;另一方面,作为杂食性动物,小龙虾在稻田对某些稻田杂草的取食和频繁的踩踏行为,使部分杂草无法正常萌发生长,减轻杂草为害,所以1~4 a的稻虾共作处理杂草数量明显减少^[9],小龙虾还会翻出埋在田泥中的杂草幼芽或种子,加快其腐烂死亡速度,降低稻田土壤杂草种子的密度^[30]。稻虾共作9 a(RC9)杂草多样性得以提高,这可能是随着稻虾共作年限的增加,饲料投喂和冬季覆水等农艺措施的变化和小龙虾的活动与粪便排放等因素的长期影响,土壤理化性质发生改变,稻田生态系统趋于稳定,适应稻虾共作稻田环境的杂草优势种群增加,稻田杂草优势种发生改变,使植物多样性回升。据研究报道,稻田长期综合种养会引起杂草种子库的变化^[29],使某些不适应稻虾田深水环境的物种减少,从而改变稻田杂草种类和数量,但随着系统的稳定,稻田植物多样性升高,可见,加强对长期稻虾共作田杂草群落结构研究与防治是稻田绿色防控的重要方面。鉴于小龙虾对农药的敏感性,应选择对小龙虾危害很小的低毒药剂,并严格控制用药量和次数。

参考文献 References

- [1] 陈欣,唐建军,赵惠明,等.农业生态系统中杂草多样性资源的可持续利用[J].自然资源学报,2003,18(3):340-346.CHEN X, TANG J J, ZHAO H M, et al. Sustainable utilization of weed diversity resources in agroecosystem[J]. Journal of natural resources, 2003, 18(3): 340-346 (in Chinese with English abstract).
- [2] MORTENSEN D A, BASTIAANS L, SATTIN M. The role of ecology in the development of weed management systems: an outlook[J]. Weed research, 2002, 40(1): 49-62.
- [3] 冯建国,沈亚明,袁小勇,等.我国稻田除草剂使用中存在的问题及应对措施[J].农药,2017,56(1):6-10.FENG J G, SHEN Y M, YUAN X Y, et al. Existing problems in the use of paddy herbicides and their corresponding countermeasures in China [J]. Agrochemicals, 2017, 56(1): 6-10 (in Chinese with English abstract).
- [4] 曹湊贵,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. 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 (in Chinese with English abstract).
- [5] 马达文,钱静,刘家寿,等.稻渔综合种养及其发展建议[J].中国工程科学,2016,18(3):96-100.MA D W, QIAN J, LIU J S, et al. Development strategy for integrated rice field aquaculture [J]. Engineering sciences, 2016, 18(3): 96-100 (in Chinese with English abstract).
- [6] 吴霆,高品伟.淡水龙虾养殖现状与发展前景[J].内陆水产,2008,32(2):17-19.WU T, GAO P W. Current situation and development prospect of freshwater lobster culture[J]. Inland fisheries, 2008, 32(2): 17-19 (in Chinese).
- [7] 谢文星,董方勇,谢山,等.克氏原螯虾的食性、繁殖和栖息习性研究[J].水生生态学杂志,2008,28(4):63-65.XIE W X, DONG F Y, XIE S, et al. Study on feeding habits, reproduction and habitat of crayfish (*Procambarus clarkii*) [J]. Journal of hydroecology, 2008, 28(4): 63-65 (in Chinese).
- [8] 程慧俊.克氏原螯虾稻田养殖生态学的初步研究[D].武汉:湖北大学,2014.CHENG H J. A preliminary study on the ecological aspects of culture the crayfish (*Procambarus clarkii*) in rice fields [D]. Wuhan: Hubei University, 2014 (in Chinese with English abstract).
- [9] 徐大兵,贾平安,彭成林,等.稻虾共作模式下稻田杂草生长和群落多样性的调查[J].湖北农业科学,2015,54(22):5599-5602.XU D B, JIA P A, PENG C L, et al. Investigation of weed growth and community diversity in the rice-crayfish symbiosis farming[J]. Hubei agricultural sciences, 2015, 54(22): 5599-5602 (in Chinese with English abstract).
- [10] 肖求清.稻虾共作对稻田生物多样性的影响[D].武汉:华中农业大学,2017.XIAO Q Q. Effects of rice-crayfish farming on biodiversity of paddy field [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张绍明,张开龙,强胜.江苏省主要农田杂草调查方法探讨[J].杂草科学,2014(4):24-27.ZHANG S M, ZHANG K L, QIANG S. Introduction of weed survey methods applied in the main crop fields of Jiangsu province [J]. Weed science, 2014 (4): 24-27 (in Chinese with English abstract).
- [12] 马克平.试论生物多样性的概念[J].生物多样性,1993,1(1):20-22.MA K P. On the concept of biodiversity [J]. Chinese biodiversity, 1993, 1(1): 20-22 (in Chinese).

- [13] ENGEN S, LANDE R. Population dynamic models generating the lognormal species abundance distribution[J]. *Mathematical biosciences*, 1996, 132(2): 169-183.
- [14] 黄世文, 余柳青, 罗宽. 稻田杂草生物防治研究现状、问题及展望[J]. *植物保护*, 2004, 30(5): 5-11. HUANG S W, YU L Q, LUO K. Current situation, problems and prospects of biological control of rice paddy field weeds[J]. *Plant protection*, 2004, 30(5): 5-11 (in Chinese with English abstract).
- [15] PINNSCHMIDT H O, BATCHELOR W D, TENG P S. Simulation of multiple species pest damage in rice using CERES-rice[J]. *Agricultural systems*, 1995, 48(2): 193-222.
- [16] 刘兴林, 孙涛, 付声姣, 等. 水稻田除草剂的应用及杂草抗药性现状[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2015, 43(7): 115-126. LIU X L, SUN T, FU S J, et al. Herbicide application and weeds resistance in rice field in China[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural science edition)*, 2015, 43(7): 115-126 (in Chinese with English abstract).
- [17] SWANTON C J, MURPHY S D. Weed science beyond the weeds; the role of integrated weed management (IWM) in agroecosystem health[J]. *Weed science*, 2008, 56(1): 168-172.
- [18] ALTIERI M A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems[J]. *Agriculture ecosystems and environment*, 1999, 74(1/2/3): 19-31.
- [19] CHAUHAN B S, AWAN T H, ABUGHO S B, et al. Effect of crop establishment methods and weed control treatments on weed management and rice yield[J]. *Field crops research*, 2015, 172(1): 72-84.
- [20] REN W Z, HU L L, ZHANG J, et al. Can positive interactions between cultivated species help to sustain modern agriculture? [J]. *Frontiers in ecology and the environment*, 2014, 12: 507-514.
- [21] HU L L, REN W Z, TANG J J, et al. The productivity of traditional rice-fish co-culture can be increased without increasing nitrogen loss to the environment[J]. *Agriculture, ecosystems & environment*, 2013, 177: 28-34.
- [22] 沈建凯, 黄璜, 傅志强, 等. 规模化稻鸭生态种养对稻田杂草群落组成及物种多样性的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(1): 123-128. SHEN J K, HUANG H, FU Z Q, et al. Effect of large-scale rice-duck eco-farming on the composition and diversity of weed community in paddy fields[J]. *Chinese journal of eco-agriculture*, 2010, 18(1): 123-128 (in Chinese with English abstract).
- [23] ZHANG J E, RONGBAO X U, CHEN X, et al. Effects of duck activities on a weed community under a transplanted rice-duck farming system in southern China [J]. *Weed biology & management*, 2009, 9(3): 250-257.
- [24] TENG Q, HU X F, CHENG C, et al. Ecological effects of rice-duck integrated farming on soil fertility and weed and pest control[J]. *Journal of soils and sediments*, 2016, 16(10): 2395-2407.
- [25] 吕东峰, 王武, 马旭洲, 等. 稻蟹共生对稻田杂草的生态防控试验研究[J]. *湖北农业科学*, 2011, 50(8): 1574-1578. LYU D F, WANG W, MA X Z, et al. Ecological prevention and control of weeds in rice-crab polycultured field[J]. *Hubei agricultural sciences*, 2011, 50(8): 1574-1578 (in Chinese with English abstract).
- [26] 赵旭, 于凤泉, 田春晖. 稻田养蟹对防除稻田杂草的效果[J]. *辽宁农业科学*, 2018(2): 74-76. ZHAO X, YU F Q, TIAN C H. Effect of rice-crab co-culture on weed control in rice field[J]. *Liaoning agricultural sciences*, 2018(2): 74-76 (in Chinese).
- [27] 刘全科, 周普国, 朱文达, 等. 稻虾共作模式对稻田杂草的控制效果及其经济效益[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(10): 1859-1863. LIU Q K, ZHOU P G, ZHU W D, et al. Weed control efficacy and economic benefits of rice-lobster farming in paddy rice fields[J]. *Hubei agricultural sciences*, 2017, 56(10): 1859-1863 (in Chinese with English abstract).
- [28] 魏守辉, 强胜, 马波等. 长期稻鸭共作对稻田杂草群落组成及物种多样性的影响[J]. *植物生态学报*, 2006, 30(1): 9-16. WEI S H, QIANG S, MA B, et al. Influence of long-term rice-duck farming systems on the composition and diversity of weed communities in paddy fields[J]. *Journal of plant ecology*, 2006, 30(1): 9-16 (in Chinese with English abstract).
- [29] LI S S, WEI S H, ZUO R L, et al. Changes in the weed seed bank over 9 consecutive years of rice-duck farming[J]. *Crop protection*, 2012, 37(2): 42-50.
- [30] BUHLER D D, HARTZLER R G, FORCELLA F. Implications of weed seedbank dynamics to weed management[J]. *Weed science*, 1997, 45: 329-336.

Effects of rice-crayfish ecosystems on weed community composition and species diversity in paddy fields

GUO Yao¹, XIAO Qiuqing¹, CAO Cougui^{1,2}, JIANG Yang¹, YUAN Pengli¹,
SUN Zichuan¹, LIU Qingjun¹, WANG Jinping¹

1. Shuangshui Shuanglü Institute/College of Plant Science and Technology,
Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Hubei Collaborative Innovation Center for Grain Industry, Jingzhou 434025, China

Abstract In order to explore the influence of rice-crayfish ecosystems on weed in paddy fields, the characteristics of weed community changes and grass control effect in paddy fields with different years of rice-crayfish ecosystem were studied with ecological approaches to plant communities. This paper studied the differences of weed diversity between rice monoculture and rice-crayfish co-culture in 1 year, 2 years, 4 years and 9 years. Field experiments were conducted to investigate the changes of weed species, weed quantity and weed coverage in fields and ridges after a complete 1-year rice-crayfish co-culture system. The results showed that the indexes of weed biodiversity in rice-crayfish co-culture systems had a trend of decreasing first and then increasing with the increase of years. The Simpson index and Shannon diversity index under CK treatment had the highest weed dominance, which was significantly different from rice-crayfish treatments. The RC4 treatment had the lowest weed dominance. The evenness index of Pielou treated by RC9 has the highest evenness, which is not significantly different from that of CK but significantly different from that of other treatments. The total number of weeds in the sample plots with different years of rice-crayfish co-culture system decreased first and then increased with the increase of the number of years, which were significantly lower than those treated with CK. The importance values (*I* values) of different weeds had different regularities with the increase of rice-crayfish co-cultivation years. The *I* values of *Leptochloa chinensis*, *Echinochloa crusgalli*, *Paspalum paspaloides* and *Fimbristylis dichotoma* decreased first and then increased with the increase of years. The *I* values of *Mazus japonicus*, *Alternanthera philoxeroides*, *Eclipta prostrata* and *Monochoria vaginalis* in rice-crayfish co-cultivation paddy fields were smaller than those in rice monoculture paddy fields and decreased year by year. After 1 year rice-crayfish co-culture farming, the number of weed species, weed individuals and weed coverage in the paddy field and the ridge were significantly reduced. The results showed that short-term rice-crayfish co-culture significantly improved the weed control effect. Long-term rice-crayfish co-culture gradually formed a new weed community structure, and corresponding weed control measures need to be taken.

Keywords rice-crayfish co-culture; integrated farming of planting and breeding in paddy fields; ecological agriculture; paddy field; weeds; community structure; species diversity; green prevention and control

(责任编辑:张志钰)