

低镉水稻对田间节肢动物群落的影响

蒋涵¹, 王雪儿¹, 邱林^{1,2}, 丁文兵^{1,2}, 贺华良^{1,2},
高俏^{1,2}, 高宏帅^{1,2}, 李有志^{1,2}, 薛进^{1,2*}

(1. 湖南农业大学植物保护学院, 长沙 410128; 2. 植物病虫害生物学与防控湖南省重点实验室, 长沙 410128)

摘要: 为探究低镉水稻品种对稻田节肢动物群落的影响, 进一步评价低镉水稻安全性, 于 2022-2023 连续两年在湖南省株洲市攸县通过扫网法和盆拍法调查了低镉稻田和常规稻田节肢动物群落动态规律, 并分析节肢动物群落丰富度、群落优势度指数和香农指数等群落特征参数。通过调查, 共获得节肢动物个体 7 032 头, 分属 10 目 46 科 65 种, 大多数为植食性害虫与捕食性天敌, 寄生性天敌少。结果表明, 低镉稻田的节肢动物物种组成、物种丰富度、香农指数、均匀度指数和优势集中度及其时间动态与常规稻田基本一致, 采集的节肢动物优势科与优势种也基本相同, 说明低镉水稻品种对稻田节肢动物群落基本无负面的影响。

关键词: 低镉水稻; 节肢动物; 群落多样性; 时间动态; 扫网法; 盆拍法

Impact of low-cadmium accumulation rice on the rice paddy arthropod community

JIANG Han¹, WANG Xue-Er¹, QIU Lin^{1,2}, DING Wen-Bing^{1,2}, HE Hua-Liang^{1,2}, GAO Qiao^{1,2}, GAO Hong-Shuai^{1,2}, LI You-Zhi^{1,2}, XUE Jin^{1,2*} (1. College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Key Laboratory of Biology and Control of Plant Diseases and Insect Pests of Hunan Province, Changsha 410128, China)

Abstract: In order to further evaluate the safety of low-cadmium rice by exploring the effects of low-cadmium rice varieties on arthropod communities in paddy fields, we investigated the dynamics of arthropod communities in low-cadmium paddy fields and conventional paddy fields in Youxian County, Zhuzhou City, Hunan Province for two consecutive years from 2022 to 2023 by sweep net method and basin-beating method, and analyzed the community characteristic parameters such as arthropod community richness, community dominance index and Shannon index. Through investigation, a total of 7 032 individuals of arthropods were obtained, belonging to 10 orders, 46 families and 65 species. Most of them were phytophagous pests and predatory natural enemies, and there were few parasitic natural enemies and neutral insects. The results showed that the species composition, species richness, Shannon index, evenness index, dominant concentration and time dynamics of arthropods in low-cadmium paddy fields were basically the

基金项目: 国家重点研发计划 (2021YFD1401105); 湖南省自然科学基金 (2022JJ30300, 2024JJ3018)

作者简介: 蒋涵, 男, 硕士研究生, 研究方向为植物保护, E-mail: 8345488923@qq.com

*通讯作者 Author for correspondence: 薛进, 博士, 讲师, 主要从事农业昆虫与害虫防治研究, E-mail: xuejin@hunau.edu.cn

收稿日期 Received: 2024-03-23; 接受日期 Accepted: 2024-06-13

same as those in conventional paddy fields. The dominant families and dominant species of arthropods were also basically the same, indicating that low-cadmium rice varieties had no negative effect on the arthropod community in paddy fields.

Key words: Low cadmium rice; arthropod; communities diversity; time dynamics; sweep net method; basin-beating method

近年来,随着大规模工业化和城镇化的进程,很多农田受到不同程度的镉污染,湖南省作为我国最大水稻主产区,镉污染范围大、面积广,镉大米事件频频出现,严重威胁了食品安全,成为长期困扰我省粮食产业高质量发展最大难点和痛点(胡杨等,2016;李少雄等,2019;刘艳等,2019)。改良土壤镉污染有物理沉降法、化学调控法、植物或微生物修复等方法,不过这些方法也有其局限性,如工程量大、成本高、修复周期长及效果缓慢等(彭少邦等,2014;高欣等,2020;李桂荣等,2020)。而通过品种替换技术,选育适合的镉低积累水稻品种是一条解决稻米镉超标问题的便捷、有效方案(李虎等,2022)。为攻克水稻镉超标问题,柏连阳院士团队开展了“优质高产低镉水稻关键核心技术研究及重大品种培育”技术攻关项目,基于低镉突变体“lcd1”先后推出了“中安早7号”“中安2号”等低镉早稻,“清莲丝占”“安优2号”等低镉中稻,“安两优2号”“华两优M5”等低镉晚稻,实现了低镉水稻新品种全熟期配套,2022年首次进行低镉水稻品种大面积、多点试验示范,早、中、晚稻总面积17343亩(俞慧友和王紫玥,2023)。2023年,镉低积累臻两优8612在湖南省推广种植7.13万 hm^2 ,稻谷样品经第三方机构检测后,镉含量平均为0.026 mg/kg,远低于国家标准值0.2 mg/kg(毛毕刚,2024)。

稻田节肢动物与水稻相伴相生,是稻田生态系统的重要组成部分(刘志诚等,2003)。如褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stal)、二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker)和稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 等植食性节肢动物经常发生,取食水稻,严重影响水稻产量(Lou et al., 2013)。植食性节肢动物为捕食性及寄生性天敌提供了丰富的寄主,稻田里捕食性及寄生性节肢动物种类十分丰富,如黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter、稻虱缨小蜂 *Anagrus sp.*等(安瑞军等,2012;马晓慧等,2022)。此外,稻田中还存在着中性昆虫,如摇蚊科和蚊科等对植株无害或为害比较轻微的节肢动物(吴进才等,1994)。研究稻田节肢动物种群种类、数量以及田间节肢动物群落特征是绿色防控农作物害虫的理论基础(刘冰等,2023)。

但是,种植低镉水稻品种是否会改变稻田节肢动物的种群密度、多样性及病虫害的发生情况尚属未知。因此,研究低镉水稻品种稻田节肢动物群落是否与常规水稻品种稻田存在差异,是否存在潜在的生物及生态安全问题,对低镉水稻品种的推广和制定低镉水稻害虫的防治策略有非常重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验地点和水稻材料

试验地位于湖南省株洲市攸县新市镇大同桥、联星街道七里坪社区、石羊塘镇谭家垅，均为常年种植水稻的地块，无间作其他作物，调查期间，所有田块生产管理保持一致，调查的每一田块面积均为 667 m² 左右。

2022 年供试早稻低镉品种为中安 2 号，常规品种为泰优 398；供试中稻低镉品种为清莲丝占，常规品种为晶两优华占。2023 年供试中稻低镉品种为镉低积累臻两优 8612，常规品种为晶两优华占。

1.2 调查方法

每个品种各取大小相似的 3 块田，采用扫网法和盆拍法进行调查，具体方法如下：

(1) 扫网法：用捕虫网（网口直径 37 cm，网深 60 cm，手柄最长大约 120 cm，60 目尼龙网纱）在水稻上部叶片扫网，在每块取样田沿直线采集取样 15 网。

(2) 盆拍法：采取平行跳跃法进行取样，每块田 5 个取样点，每点取 3 丛水稻，把塑料盆置于水稻基部，用手快速拍击水稻中下部，使节肢动物落入盆内。

2022 年调查自 6 月 28 日开始，至水稻收获为止。2023 年调查自 7 月 17 日开始，至中稻收获为止。每 5 天采集一次，将采集到的节肢动物用毒瓶处理，带回鉴定，尽量对个体鉴定到种，按照不同日期详细记录鉴定结果，包括种名、数量等。

1.3 数据分析

计算物种丰富度 (S)、Shannon-Wiener 指数 (H')、均匀性指数 (J) 和优势集中性指数 (C)；功能团优势度的计算：功能团优势度=该功能团个体数/节肢动物总个体数；将节肢动物鉴定到科或种，科/种优势度计算方法：科（种）优势度=该科（种）节肢动物个体数/总个体数。

计算公式：

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

其中， $P_i = N_i / N$ ； S 是群落中的物种数； P_i 是群落中第 i 个物种的个体数量 (N_i) 占总个体数量 (N) 的比例。

$$J = H' / H'_{\max}$$

其中， H'_{\max} 为 H' 的最大理论值，即假设群落中所有物种的个体数量都相同时的 H' 值，实际计算时，一般用 $\ln S$ 替代 H'_{\max} 。

$$C = \sum P_i^2 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, S)$$

其中， $P_i = N_i / N$ 同上。

利用 Microsoft Excel 2019 和 GraphPad Prism 8.3.0 进行数据统计与分析。

2 结果与分析

2.1 稻田节肢动物群落物种组成

通过 2022-2023 连续两年调查到节肢动物隶属 10 目 46 科 65 种。2022 年低镉早稻共采集节肢动物 1 031 头，分属 10 目 33 科 48 种。其中害虫 15 科 24 种 680 头；天敌 15 科 21 种 332 头；中性昆虫 3 科 3 种 19 头。常规早稻共采集节肢动物 995 头，分属 8 目 27 科 35 种。其中害虫 11 科 16 种 688 头；天敌 13 科 16 种 282 头；中性昆虫 3 科 3 种 25 头。

2022 年低镉中稻田共采集节肢动物 1 189 头，分属 8 目 26 科 35 种。其中害虫 11 科 17 种 696 头；天敌 11 科 16 种 463 头；中性昆虫 2 科 2 种 30 头。常规中稻田共采集节肢动物 1 194 头，分属 8 目 25 科 33 种。其中害虫 10 科 16 种 705 头；天敌 15 科 16 种 473 头；中性昆虫 1 种 16 头。

2023 年低镉中稻共采集节肢动物 1 282 头，分属 8 目 30 科 46 种。其中害虫 13 科 22 种 726 头；天敌 10 科 17 种 442 头；中性昆虫 7 科 7 种 114 头。常规中稻田共采集节肢动物 1 341 头，分属 10 目 38 科 54 种。其中害虫 15 科 23 种 763 头；天敌 14 科 22 种 460 头；中性昆虫 9 科 9 种 118 头。

表 1 田间节肢动物群落物种组成

Table 1 Species composition of arthropod community in rice field

调查时期 Survey date	节肢动物类群 Arthropod groups	低镉稻田 Low-cadmium paddy fields				常规稻田 Conventional rice fields			
		物种数 Number of species	比例 (%) Proportion	个体数 Number of individua	比例 (%) Proportion	物种数 Number of species	比例 (%) Proportion	个体数 Number of individua	比例 (%) Proportion
2022 年早稻 Early rice in 2022	害虫类群 Pest	24	50.00	680	65.96	16	45.71	688	69.15
	天敌类群 Predator	21	43.75	332	32.20	16	45.71	282	28.34
	中性类群 Neutral	3	6.25	19	1.84	3	8.58	25	2.51
	总体 Total	48	100.00	1 031	100.00	35	100.00	995	100.00
2022 年中稻 Semilate rice in 2022	害虫类群 Pest	17	48.57	696	58.54	16	48.48	705	59.05
	天敌类群 Predator	16	45.71	463	38.94	16	48.48	473	39.61
	中性类群 Neutral	2	5.72	30	2.52	1	3.04	16	1.34
	总体 Total	35	100.00	1 189	100.00	33	100.00	1 194	100.00

2023 年中稻 Semilate rice in 2023	害虫类群 Pest	22	47.83	726	56.63	23	42.59	763	56.9
	天敌类群 Predator	17	36.96	442	34.48	22	40.74	460	34.3
	中性类群 Neutral	7	15.21	114	8.89	9	16.67	118	8.8
	总体 Total	46	100.00	1 282	100.00	54	100.00	1 341	100.00

2.2 稻田节肢动物群落多样性特征

多样性分析结果显示，2022 年低镉早稻田间害虫亚群落、天敌亚群落和节肢动物总群落的香农多样性指数均高于常规稻田相应指数；害虫亚群落和节肢动物总群落均匀度指数与常规稻田相应指数接近，但天敌亚群落均匀度指数低于常规稻田；低镉稻田天敌亚群落优势集中度与常规稻田相近，害虫亚群落和总群落低于常规稻田。

2022 年低镉中稻田间害虫亚群落、天敌亚群落和节肢动物总群落的香农多样性指数和均匀度指数与常规稻田相应指数相近，但低镉稻田指数略高于常规稻田；优势集中度均低于常规稻田。

2023 年低镉中稻田间害虫亚群落香农多样性指数和均匀度指数高于常规稻田害虫亚群落相应指数，优势集中度低于常规稻田；天敌亚群落香农多样性指数低于常规稻田，均匀度指数和优势集中度高于常规稻田；总群落 3 个多样性指数与常规稻田相近。

表 2 田间节肢动物群落多样性特征

Table 2 Diversity parameters of arthropod communities in rice field

调查时期 Survey date	节肢动物类群 Arthropod groups	低镉稻田 Low-cadmium paddy fields			常规稻田 Conventional rice fields		
		香农指数 (H')	均匀度指数 (J)	优势集中度 (C)	香农指数 (H')	均匀度指数 (J)	优势集中度 (C)
		Shanon-Wiener diversity index	Evenness index	Dominance index	Shanon-Wiener diversity index	Evenness index	Dominance index
2022 年早稻 Early rice in 2022	害虫类群 Pest	1.1612	0.3654	0.5077	0.9985	0.3601	0.5302
	天敌类群 Predator	2.0956	0.6883	0.1664	2.0230	0.7296	0.1677
	总体 Total	2.1676	0.5599	0.2383	1.9772	0.5561	0.2675
2022 年中稻 Semilate rice in 2022	害虫类群 Pest	1.2964	0.4576	0.3762	1.2280	0.4429	0.3933
	天敌类群 Predator	1.9458	0.7018	0.1909	1.8542	0.6688	0.2152
	总体 Total	2.2964	0.6459	0.1584	2.1953	0.6279	0.1711
2023 年中稻 Semilate rice	害虫类群 Pest	1.3418	0.4341	0.3914	1.2489	0.3983	0.4140

in 2023	天敌类群 Predator	2.0464	0.7223	0.1772	2.2199	0.7182	0.1579
	总体 Total	2.5002	0.6530	0.1487	2.496	0.6257	0.1551

2.3 稻田节肢动物群落优势科的比较

2022 年低镉早稻采集的稻田节肢动物前八的优势科分别是：飞虱科、肖蛸科、皿蛛科、球腹蛛科、盲蝽科、叶蝉科、螟蛾科、螻蛄科；常规稻田采集的稻田节肢动物前八的优势科分别是：飞虱科、肖蛸科、皿蛛科、球腹蛛科、跳蛛科、盲蝽科、摇蚊科、螟蛾科。

2022 年低镉中稻采集的稻田节肢动物前八的优势科分别是：飞虱科、球腹蛛科、皿蛛科、肖蛸科、螟蛾科、盲蝽科、摇蚊科、跳蛛科；常规稻田采集的稻田节肢动物前八的优势科分别是：飞虱科、球腹蛛科、皿蛛科、肖蛸科、盲蝽科、跳蛛科、螟蛾科、叶蝉科。

2023 年低镉中稻采集的稻田节肢动物前八的优势科分别是：飞虱科、肖蛸科、球腹蛛科、皿蛛科、摇蚊科、叶蝉科、蝇科、蚊科；常规稻田采集的稻田节肢动物前八的优势科分别是：飞虱科、肖蛸科、皿蛛科、球腹蛛科、摇蚊科、叶蝉科、盲蝽科、蚊科。

2.4 稻田节肢动物群落优势种

在低镉稻田和常规稻田采集的节肢动物优势度最高的种均为稻飞虱，早稻田为白背飞虱，中稻田为褐飞虱。除了稻飞虱，优势度靠前的种均为肖蛸、蜘蛛等捕食性天敌。

表 3 节肢动物优势科
Table 3 Dominant family of arthropods

2022 年早稻 Early rice in 2022				2022 年中稻 Semilate rice in 2022				2023 年中稻 Semilate rice in 2023			
低镉稻田 Low-cadmium paddy fields		常规稻田 Conventional rice fields		低镉稻田 Low-cadmium paddy fields		常规稻田 Conventional rice fields		低镉稻田 Low-cadmium paddy fields		常规稻田 Conventional rice fields	
优势科 Dominant family	优势度(%) Dominance	优势科 Dominant family	优势度(%) Dominance	优势科 Dominant family	优势度(%) Dominance	优势科 Dominant family	优势度(%) Dominance	优势科 Dominant family	优势度(%) Dominance	优势科 Dominant family	优势度(%) Dominance
飞虱科 Delphacidae	57.81	飞虱科 Delphacidae	62.91	飞虱科 Delphacidae	49.96	飞虱科 Delphacidae	51.59	飞虱科 Delphacidae	48.21	飞虱科 Delphacidae	49.66
肖蛸科 Tetragnathidae	15.32	肖蛸科 Tetragnathidae	11.86	球腹蛛科 Theridiidae	12.53	球腹蛛科 Theridiidae	12.81	肖蛸科 Tetragnathidae	17.47	肖蛸科 Tetragnathidae	17.15
皿蛛科 Linyphiidae	5.92	皿蛛科 Linyphiidae	6.13	皿蛛科 Linyphiidae	9.17	皿蛛科 Linyphiidae	11.39	球腹蛛科 Theridiidae	6.24	皿蛛科 Linyphiidae	5.07
球腹蛛科 Theridiidae	4.56	球腹蛛科 Theridiidae	3.02	肖蛸科 Tetragnathidae	7.99	肖蛸科 Tetragnathidae	5.78	皿蛛科 Linyphiidae	4.13	球腹蛛科 Theridiidae	4.47
盲蝽科 Miridae	2.42	跳蛛科 Salticidae	2.91	螟蛾科 Pyralidae	4.04	盲蝽科 Miridae	3.35	摇蚊科 Chironomidae	3.12	摇蚊科 Chironomidae	4.03
叶蝉科 Cicadellidae	2.23	盲蝽科 Miridae	2.51	盲蝽科 Miridae	2.69	跳蛛科 Salticidae	2.85	叶蝉科 Cicadellidae	2.73	叶蝉科 Cicadellidae	3.06
螟蛾科 Pyralidae	1.94	摇蚊科 Chironomidae	2.31	摇蚊科 Chironomidae	2.35	螟蛾科 Pyralidae	2.68	蝇科 Muscidae	2.50	盲蝽科 Miridae	2.46
蝽科 Pentatomidae	1.45	螟蛾科 Pyralidae	2.01	跳蛛科 Salticidae	2.27	叶蝉科 Cicadellidae	1.68	蚊科 Culicidae	2.26	蚊科 Culicidae	2.39

表 4 节肢动物优势种

Table 4 Dominant species of arthropods

2022 年早稻 Early rice in 2022				2022 年中稻 Semilate rice in 2022				2023 年中稻 Semilate rice in 2023			
低镉稻田		常规稻田		低镉稻田		常规稻田		低镉稻田		常规稻田	
Low-cadmium paddy fields		Conventional rice fields		Low-cadmium paddy fields		Conventional rice fields		Low-cadmium paddy fields		Conventional rice fields	
优势种	优势度(%)	优势种	优势度(%)	优势种	优势度(%)	优势种	优势度(%)	优势种	优势度(%)	优势种	优势度(%)
Dominant species	Dominance	Dominant species	Dominance	Dominant species	Dominance	Dominant species	Dominance	Dominant species	Dominance	Dominant species	Dominance
白背飞虱		白背飞虱		褐飞虱		褐飞虱		褐飞虱		褐飞虱	
<i>Sogatella furcifera</i>	45.20	<i>Sogatella furcifera</i>	48.04	<i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	28.68	<i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	29.65	<i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	30.58	<i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	31.84
褐飞虱		褐飞虱		白背飞虱		白背飞虱		白背飞虱		白背飞虱	
<i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	12.61	<i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	14.87	<i>Sogatella furcifera</i>	21.28	<i>Sogatella furcifera</i>	21.94	<i>Sogatella furcifera</i>	17.63	<i>Sogatella furcifera</i>	17.82
圆尾肖蛸		圆尾肖蛸		八斑球腹蛛		八斑球腹蛛		圆尾肖蛸		圆尾肖蛸	
<i>Tetragnatha shikokiana</i>	8.63	<i>Tetragnatha shikokiana</i>	7.64	<i>Theridion octomaculatum</i> (Boes. et Str.)	12.53	<i>Theridion octomaculatum</i> (Boes. et Str.)	12.81	<i>Tetragnatha shikokiana</i>	10.06	<i>Tetragnatha shikokiana</i>	10.14
锥腹肖蛸		草间小黑蛛		草间小黑蛛		草间小黑蛛		锥腹肖蛸		锥腹肖蛸	
<i>Tetragnatha maxillosa</i> (Thoren, 1895)	6.30	<i>Hylyphantes graminicola</i>	6.13	<i>Hylyphantes graminicola</i>	9.08	<i>Hylyphantes graminicola</i>	11.39	<i>Tetragnatha maxillosa</i> (Thoren, 1895)	6.94	<i>Tetragnatha maxillosa</i> (Thoren, 1895)	5.22

2.5 稻田节肢动物群落结构特征主要参数的时间动态

两年调查低镉水稻田和常规水稻田间节肢动物群落 4 个参数：物种丰富度、香农指数、均匀度指数和优势集中度时间动态如图 1 至图 3 所示。2022 年低镉水稻田物种丰富度和香农指数除个别调查时间外，均高于常规水稻田，但总体变化趋势基本一致。两种水稻均匀度指数和优势集中度时间动态曲线走势基本一致，无明显不同。2023 年两稻田节肢动物群落 4 个主要参数的动态曲线随时间上下波动，互有高低，但总体变化趋势基本相同。

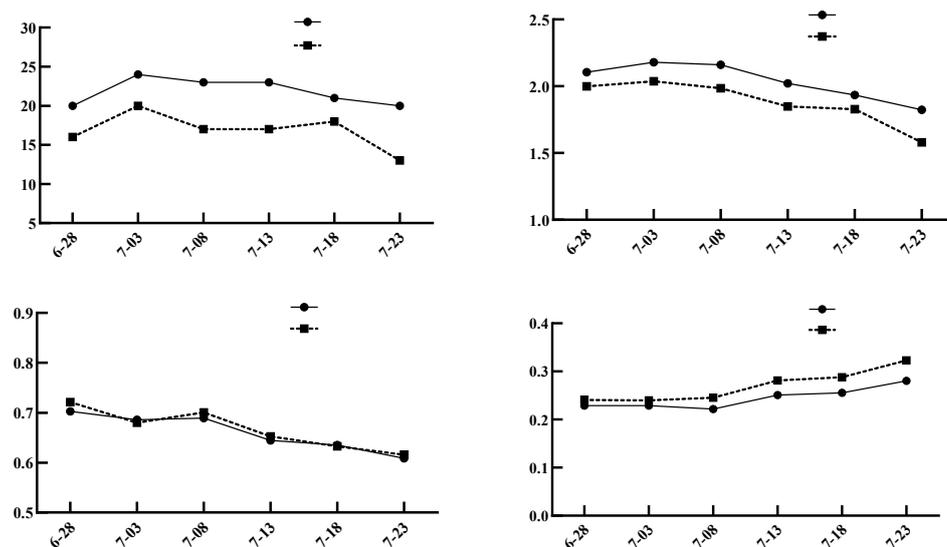


图 1 2022 年早稻稻田节肢动物群落结构特征主要参数的时间动态

Fig. 1 Temporal dynamics of arthropod community diversity in early rice paddy field in 2022

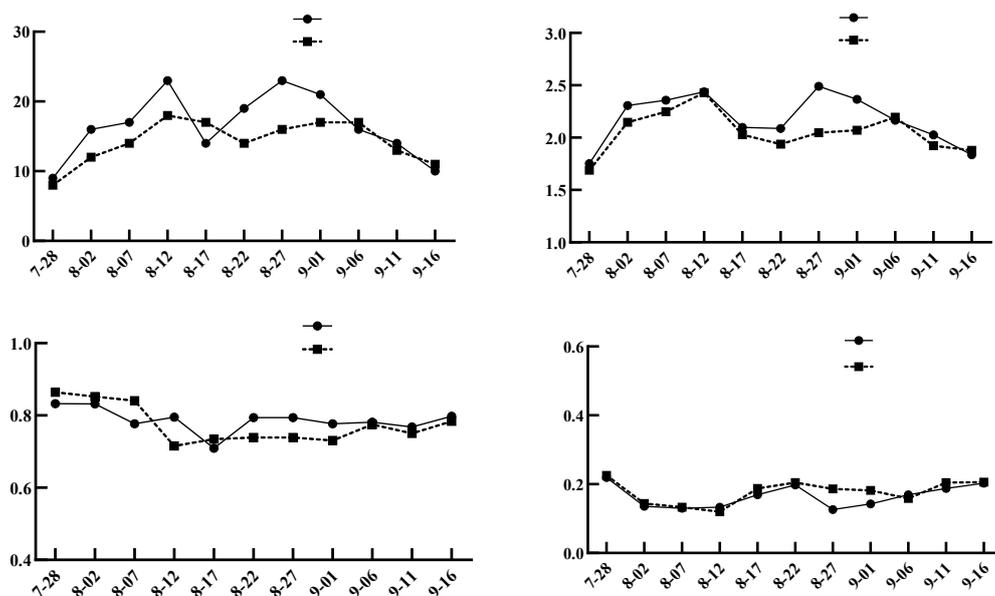


图 2 2022 年中稻稻田节肢动物群落结构特征主要参数的时间动态

Fig. 2 Temporal dynamics of arthropod community diversity in semilate rice paddy field in 2022

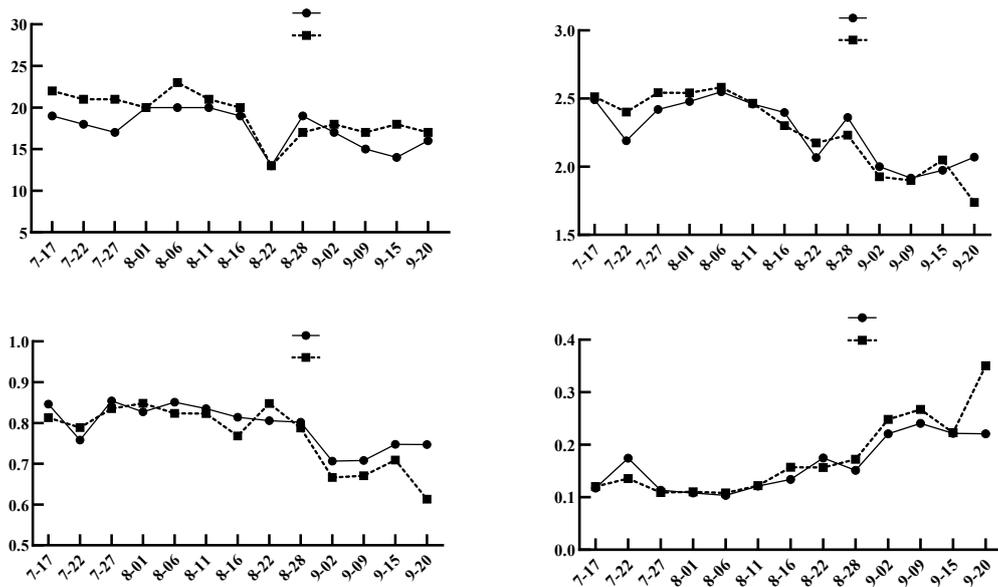


图3 2023年中稻稻田节肢动物群落结构特征主要参数的时间动态

Fig.3 Temporal dynamics of arthropod community diversity in semilate rice paddy field in 2023

3 结论与讨论

品种是农作物的重要属性，品种间的基因差异导致了其营养状况、成熟期和抗逆性可能存在的差异（亢菊侠等，2023）。新品种农作物安全性评价是新品种推广过程中重点考虑因素之一，而其农田生态系统中其他群落生物指数变化情况亦是一个重要评价指标，通过这些变化可以探讨其生物安全性。本研究采用了扫网法和盆拍法两种取样方式对稻田节肢动物进行了调查，通过比较低镉稻田和常规稻田节肢动物群落差异，明确了低镉水稻品种对稻田节肢动物群落的影响，为制定低镉水稻品种害虫防治策略、论证低镉水稻品种安全性和推广低镉水稻品种提供依据。

2022 与 2023 年调查数据显示，同年同季低镉稻田节肢动物群落特征与常规稻田相似，物种丰富度、优势集中度、均匀度指数和香农指数无明显不同。通过比较低镉稻田和常规稻田采集的节肢动物优势科，可以发现在两种稻田中飞虱科均占绝对优势。其余优势科多为植食性和捕食性节肢动物，寄生性和中性节肢动物采集较少。从采集的优势种来看，白背飞虱 *Sogatella furcifera* 和褐飞虱的优势度最高，除去稻飞虱，其余优势种都是捕食性的蜘蛛目节肢动物。通过分析两种稻田节肢动物群落物种丰富度、香农指数、均匀度指数和优势集中度发现，除 2022 年低镉稻田物种丰富度和香农指数高于常规稻田，其余参数的动态曲线随时间波动，互有高低，但变化趋势基本相同。

综上所述，可认为多数情况下低镉水稻对稻田节肢动物群落基本无负面的影响，其生物安全性在环境中表现是安全的。本研究仅采集了主要生活在稻丛顶部和基部节肢动物，对于水稻其他部位的节肢动物采集较少，因此，在将来继续调查稻田节肢动物时，应该结合其他

节肢动物采样方法如吸虫器法来进行采样, 可以更加全面的调查稻田节肢动物群落, 更能反应田间的真实情况。

参考文献 (References)

- An RJ, Shi K, Li YY, *et al.* Survey research on species of predatory natural enemy in paddy ecosystem of Tongliao Areas [J]. *Journal of Agriculture*, 2012, 2 (2): 21-25. [安瑞军, 石凯, 李媛媛, 等. 通辽地区稻田生态系统捕食性天敌种类的调查研究 [J]. 农学学报, 2012, 2 (2): 21-25]
- Gao X, Deng Y, Ji MM, *et al.* Leaching effect of amino acid salts on cadmium contaminated soil [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 36 (2): 366-372. [高欣, 邓芸, 季蒙蒙, 等. 氨基酸盐对镉污染土壤的淋洗效果 [J]. 江苏农业学报, 2020, 36 (2): 366-372]
- Hu Y, Xu T. Current situation and suggestions of heavy metal pollution in the Xiangjiang River Basin of Hunan Province [J]. *Private Technology*, 2016, 8: 220. [胡杨, 许涛. 湖南湘江流域重金属污染现状及建议 [J]. 民营科技, 2016, 8: 220]
- Kang JX, Wang Z, Zhong YY. Arthropod population dynamics and community structure characteristics in different strawberry variety orchards [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 69 (8): 68-72. [亢菊侠, 王壮, 仲颜怡. 不同品种设施草莓园节肢动物种群动态监测及群落特征分析 [J]. 陕西农业科学, 2023, 69 (8): 68-72]
- Li GR, Chen FK, Jia SY, *et al.* Influences of eggplant straw-based biochar combined with ryegrass on remediation of Cd and pyrene Co-contaminations in soil [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2020, 49 (9): 51-61. [李桂荣, 陈富凯, 贾胜勇, 等. 茄子秆生物炭联合黑麦草对土壤镉-芘复合污染修复的影响 [J]. 河南农业科学, 2020, 49 (9): 51-61]
- Li H, Wu ZS, Chen CH, *et al.* Screening of rice varieties with low cadmium accumulation and evaluation of their performance in rice fields with cadmium exceeding standard [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2022, 53 (1): 96-103. [李虎, 吴子帅, 陈传华, 等. 镉低积累水稻品种筛选及其在镉超标稻田的表现评价 [J]. 南方农业学报, 2022, 53 (1): 96-103]
- Li SX, Luo B. A case study on passivator technology of cadmium contaminated rice field in Hunan Province [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47 (8): 86-89. [李少雄, 罗波. 湖南重度镉污染稻田钝化管控技术研究 [J]. 安徽农业科学, 2019, 47 (8): 86-89]
- Liu B, Lu HY. Arthropod food web structure and the biocontrol services of natural enemies in agro-ecosystems [J]. *Journal of Plant Protection*, 2022, 49 (1): 97-109. [刘冰, 陆宴辉. 农田节肢动物食物网结构与天敌控害功能 [J]. 植物保护学报, 2022, 49 (1): 97-109]
- Liu Y, Li H, Yan HL, *et al.* Whole-process control technology of typical rice field polluted with cadmium in Hunan: A case study [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35 (35): 94-99. [刘艳, 李慧, 晏洪玲, 等. 湖南典型酸性镉污染稻田全过程管控技术案例研究 [J]. 中国农学通报, 2019, 35 (35): 94-99]
- Liu ZC, Ye GY, Hu C, *et al.* Impact of transgenic indica rice with a fused gene of *cry1Ab/cry1Ac* on the rice paddy arthropod community [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 46 (4): 454-465. [刘志诚, 叶恭银, 胡萃, 等. 转 *cry1 Ab/cry1 Ac* 基因籼稻对稻田节肢动物群落影响 [J]. 昆虫学报, 2003, 46 (4): 454-465]
- Lou YG, Zhang GR, Zhang WQ, *et al.* Biological control of rice insect pests in China [J]. *Biol Control*, 2013, 67: 8-20.
- Ma XH, Xing YN, Che XQ, *et al.* Research progress of Dryinidae for natural enemy of rice planthoppers [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2022, 44 (4): 859-868. [马晓慧, 邢亚楠, 车喜庆, 等. 稻飞虱天敌螳螂研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (4): 859-868]
- Mao BG. The new hybrid rice combination cadmium low accumulation zhenliangyou 8612 has been successfully popularized in large areas [J]. *Hybrid Rice*, 2024, 39 (2): 88. [毛毕刚. 杂交水稻新组合镉低积累臻两优 8612 大面积推广获得成功 [J]. 杂交水稻, 2024, 39 (2): 88]
- Peng SB, Cai L, Li SQ. Remediation methods of cadmium contaminated soil and research progress on bioremediation [J]. *Environment and Development*, 2014, 26 (3): 86-90. [彭少邦, 蔡乐, 李泗清. 土壤镉污染修复方法及生物修复研究进展 [J]. 环境与发展, 2014, 26 (3): 86-90]
- Wu JC, Hu GW, Tang J, *et al.* Regulatory effect of neutral insects on community food webs in paddy fields [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 4: 381-386. [吴进才, 胡国文, 唐健, 等. 稻田中性昆虫对群落食物网的调控作用 [J]. 生态学报, 1994, 4: 381-386]
- Yu HY, Wang ZY. A new low cadmium rice variety which can be popularized in large area has been bred in China [J]. *China Food*, 2023, 21: 159. [俞慧友, 王紫玥. 我国育出可大面积推广的低镉水稻新品种 [J]. 中国食品, 2023, 21: 159]