

转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻对稻田浮游动物群落物种多样性的影响

莫书银¹ 刘雨芳^{1*} 孙丽川¹ 李菲¹ 戈峰²

(¹湖南科技大学生命科学院/园艺作物病虫害治理湖南省重点实验室, 湖南湘潭 411201; ²中国科学院动物研究所/农业虫害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

摘要 为了解转 *Bt* 基因抗虫水稻对稻田浮游动物群落的安全性, 本文以转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻“华恢 1 号”(HH1) 为试验材料, 以其非转基因亲本水稻“明恢 63”(MH63) 为对照, 以浮游动物为指示生物, 通过湖南湘潭基地连续 3 年的大田实验, 研究了转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻对稻田浮游动物群落物种多样性的影响。结果表明: HH1 与 MH63 两稻田生境浮游动物群落相似性高于 0.70, 优势种组成相似性高于 0.89; 浮游动物群落结构各参数的时间动态与总体分析均无显著差异; 转 *Cry1Ab/Ac* 基因抗虫水稻 HH1 对稻田浮游动物群落物种多样性无不良影响。

关键词 转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻; 浮游动物; 稻田; 安全评价

Effects of transgenic *Cry1Ab/Ac* rice on the species diversity of zooplankton community in paddy fields. MO Shu-yin¹, LIU Yu-fang^{1*}, SUN Li-chuan¹, LI Fei¹, GE Feng² (¹College of Life Science, Hunan University of Science and Technology/Hunan Province Key Laboratory for Integrated Management of Pests and Diseases on Horticultural Crops, Xiangtan 411201, Hunan, China; ²Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences/State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects & Rodents, Beijing 100101, China).

Abstract: To understand the safety of transgenic *Bt* rice on zooplankton community in paddy fields, a safety evaluation experiment was conducted in 3 consecutive years in Xiangtan, Hunan Province, by using the transgenic *Cry1Ab/Ac* rice ‘Huahui No. 1’ (HH1 for short) as *Bt* rice material and the non-transgenic parent rice ‘Minghui63’ (MH63 for short) as control. The zooplankton community in paddy fields was used as bio-indicator. The results showed that the similarity coefficients of all species composition and the dominant species of zooplankton community in HH1 and MH63 paddy fields were higher than 0.70 and 0.89, respectively. By comprehensive and temporal dynamic analyses, the parameters of zooplankton community in HH1 paddy fields in 2012, 2013 and 2014 displayed almost equal values and similar trends compared with those in MH63 paddy fields. These results suggested that transgenic *Cry1Ab/Ac* rice had no obvious adverse effect on zooplankton community in paddy fields.

Key words: transgenic *Cry1Ab/Ac* rice; zooplankton; paddy field; safety evaluation.

转 *Cry1Ab/Ac* 融合基因水稻华恢 1 号 (HH1) 2009 年首批获得农业部批准安全证书 (农基安证字 (2009) 第 072 号), 引起了社会对转基因水稻的田间生态安全性的广泛关注并开展了大量的生态安全评价研究。如转基因水稻对稻田天敌、非靶标害虫

的影响 (刘雨芳等, 2006, 2007)、转 *Bt* 基因与非转 *Bt* 基因稻残遗物分解对土壤微生物的生态影响 (Lu *et al.* 2010; 戚琳等 2013)、HH1 水稻稻秆及花粉对泥鳅生理活性的影响 (李菲等, 2014a; 2014b)、中华圆田螺抗氧化-代谢酶系统对 HH1 水稻的响应 (谭树华等 2014)、HH1 对稻田底栖动物群落的生态安全性评价 (桂芳艳等, 2015a, 2015b) 及种植 HH1 残

国家转基因生物新品种培育重大专项 (2012ZX08011002) 资助。

收稿日期: 2015-12-22 接受日期: 2016-05-18

* 通讯作者 E-mail: yfliu2011@126.com

遗物对泥鳅生长及抗氧化-解毒酶系统的影响(孙远东等 2015) 或从转基因水稻与传统水稻共存系统的生态位相互作用的竞争关系上来评价转基因水稻的生态安全性(Liu *et al.* 2015)。但稻田浮游动物作为稻田水生生态系统的重要组成成分,同时也是转基因抗虫水稻的非靶标生物安全评价的重要对象,转基因水稻对稻田浮游动物的生态安全性研究鲜有报道。

浮游动物主要包括原生动物、轮虫、枝角类、桡足类、微小水生昆虫等类群,其个体小,对环境水质变化敏感,通过水体中浮游动物的种类、密度、生物量以及种群特征变化,可以判断水体环境质量,常是评价水质状况的重要指标(周凤霞等 2011; 邵卫伟等 2013)。研究上也常采用浮游动物群落特征来评价水质状况,如对高山湖、海岸水环境、封闭式水库水产养殖(Aygen *et al.* 2009; Mozumder *et al.* 2011; Crispim *et al.* 2013),对半干旱环境因子的季节动态(Sellami *et al.* 2012),海豚保护区的水质状况(Roy *et al.* 2014)进行评估。本文以浮游动物群落为指示生物,以转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻“华恢 1 号”(HH1)为试验材料,通过在湖南湘潭连续 3 年的大田实验,探索转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻对稻田浮游动物群落物种多样性的影响,以了解转基因抗虫水稻对稻田浮游动物群落的安全性,并为补充与完善转 *Bt* 基因抗虫水稻的田间生态安全评价提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试水稻品种

本试验所用转基因水稻为华恢 1 号(转 *Cry1Ab/Ac* 融合基因,简称 HH1),非转基因水稻品种明恢 63(简称 MH63,转 *Cry1Ab/Ac* 受体)。两种水稻材料均由华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室提供。

1.2 田间种植与管理方法

实验地点位于湖南省湘潭市湖南科技大学的实验基地内,分别于 2012、2013、2014 年 6—9 月单季种植。稻田隔成 6 个小区,每样区面积约 330 m²,各小区设置单独进水与出水管理。HH1 与 MH63 各种植 3 个小区,即设 3 次重复,种植小区间隔排列。2012 年 5 月 16 日播种,6 月 16 日施底肥复混肥,6 月 18 日单本移栽,6 月 28 日与 7 月 26 日施尿素追肥。2013 年 5 月 21 日播种,6 月 19 日施底肥复混

肥,6 月 20 日单本移栽,7 月 8 日施尿素作追肥。2014 年 5 月 24 日播种,6 月 17 日施底肥复混肥,6 月 19 日单本移栽,7 月 15 日施尿素作追肥。以上株间距均 20 cm,行间距均为 25~30 cm。在水稻整个生长期,均不施用任何化学杀虫剂和除草剂,手工除草,其他农事操作均相同且同当地常规操作。

1.3 采样及鉴定

水稻移栽后约 2 周开始采样,间隔约 15 天采样 1 次,每年各采样 4 次。各年的采样具体日期分别为:2012 年 7 月 16 日、30 日,8 月 13 日、27 日共 4 次;2013 年 7 月 12 日、26 日,8 月 8 日、27 日共 4 次;2014 年 7 月 5 日、21 日,8 月 5 日、20 日共 4 次。采样时,每样区随机选取 3 个样点,各舀取 10 L 水混合后,用 25 号浮游动物网(网孔径 0.064 mm)过滤,并用 100 mL 定量瓶定容,定容后的样品用 4% 甲醛溶液固定后再浓缩至 30 mL 待鉴定,文中的个体数量均以 10 L 水为计量单位。浮游动物的鉴定参考相关文献(沈嘉瑞等,1979;韩茂森等,1980;董聿茂等,1982;周凤霞等 2011;邵卫伟 2013)。

1.4 群落参数及计算公式

本文采用群落物种丰富度(S)、个体数量(N)、Shannon 多样性指数(H)、均匀性指数(J)、Simpson 优势集中性指数(C)、Berger-Parker 优势度指数(D)与优势种对浮游动物群落结构组成与时间动态进行分析。并用 Czekanowski 群落相似系数(C_s)分析浮游动物群落物种组成的相似性。以上指数的计算公式如下:

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

$$J = \frac{H}{\ln S} \quad (2)$$

$$D = \frac{N_{\max}}{N} \quad (3)$$

$$C = \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N} \right)^2 \quad (4)$$

$$C_s = \frac{2A}{a+b} \quad (5)$$

式中: S 为群落物种丰富度; P_i 为群落中物种 i 的个体数占群落总个体数的比例; n_i 为物种 i 的个体数量; N 为群落总个体数量; N_{\max} 表示优势种的种群数量; A 为两群落 a 与 b 的共有物种数, a 、 b 分别为群落 a 与群落 b 各自的物种数(桂芳艳等,2015a, 2015b)。当种群密度与群落总密度之比 $\geq 10\%$ 时,则

该物种为优势种(何先进等 2012)。

1.5 数据分析

用 Excel 2003 与 SPSS 13.0 Version 统计软件对试验数据进行计算与统计分析,通过独立样本 *t* 检验(Independent-Sample *t* Test)对 HH1 和 MH63 稻田浮游动物群落组成与特征进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 HH1 对稻田浮游动物群落物种组成与时间动态的影响

2012 年在 HH1 与 MH63 两类稻田生境中,共采集到浮游动物 12 种,其中枝角类 4 种、桡足类 4 种、线虫 1 种、介形类 2 种、水生昆虫幼虫 1 种。在 HH1 和 MH63 生境中分别采集到浮游动物 10 和 11 种,两生境共有浮游动物 9 种;优势种多刺裸腹溞、锯缘真剑水蚤、线虫与羽摇蚊幼虫 4 种。在 4 次采样中,两群落总物种组成相似性系数均大于 0.73,优势物种组成相似性系数均大于 0.80(表 1)。

2013 年在 HH1 与 MH63 两类稻田生境中,共采集到浮游动物 25 种,其中原生动物 1 种、轮虫 4 种、枝角类 11 种、桡足类 4 种、线虫 1 种、介形类 2 种、水生昆虫幼虫 2 种。在 HH1 和 MH63 生境中分别采集到浮游动物 22 和 18 种,两生境共有浮游动物 14 种;优势种有 5 种:多刺裸腹溞、锯缘真剑水蚤、线虫、羽摇蚊幼虫以及 1 种枝角类。4 次采样中,两群落物种组成相似性系数均大于 0.65,优势种相似

性系数均大于 0.80(表 2)。

2014 年在 HH1 与 MH63 两类稻田生境中,共采集到浮游动物 15 种,其中枝角类 8 种、桡足类 3 种、线虫 1 种、介形类 2 种、水生昆虫幼虫 1 种。在 HH1 和 MH63 生境中分别采集到浮游动物 15 和 12 种,两生境共有的浮游动物 12 种;优势种多刺裸腹溞、锯缘真剑水蚤、线虫、真介虫、羽摇蚊幼虫 5 种。4 次采样中,两群落物种组成相似性系数均大于 0.57,优势种相似性系数 0.89(表 3)。

2.2 HH1 与 MH63 生境浮游动物群落与优势种亚群落相似性比较

2012、2013 年与 2014 年连续 3 年的群落相似性分析显示,同一年份中,HH1 与 MH63 生境浮游动物群落物种组成相似性均 ≥ 0.70 ,分别为 0.86、0.70、0.89;优势种亚群落物种组成相似性 ≥ 0.89 ,分别为 1.00、0.89、0.89;不同年份中,两两生境间的群落相似系数在 0.47~0.73,优势种相似系数为 0.80~1.00(表 4)。

2.3 HH1 对稻田浮游动物群落结构特征参数的影响

2012、2013、2014 年的各次时间动态调查结果显示:除 2012 年 8 月 13 日 HH1 稻田生境中物种丰富度(7.78 ± 0.15)极显著高于 MH63 稻田生境(6.67 ± 0.17) ($P < 0.01$)外,其余各次调查均显示 HH1 稻田生境浮游动物物种丰富度、个体数量、多样性指数、均匀性指数与优势集中性指数均略低于或略高于 MH63 稻田生境,但差异不显著(图 1)。

表 1 HH1 与 MH63 生境稻田浮游动物群落组成、种群密度百分比及时间动态(湘潭,2012)

Table 1 Species composition, density percentage of the population and their temporal dynamics of zooplankton communities in paddy fields planting HH1 and MH63 rice (Xiangtan, 2012)

分类地位	物种(类)	07-16		07-30		08-13		08-27	
		HH1	MH63	HH1	MH63	HH1	MH63	HH1	MH63
甲壳纲									
枝角类	短尾秀体溞 <i>Diaphanosoma brachyurum</i>	0	0.03	0	0	0	0	0	0
	老年低额溞 <i>Simocephalus vetulus</i>	0	0	0	1.7	2.8	3.8	5.0	3.8
	多刺裸腹溞 <i>Moina macrocopa</i>	19.8	20.5	20.5	24.4	20.8	21.0	0	0
	微型裸腹溞 <i>Moina micrura</i>	0	0.2	0	3.9	1.5	0	0	0
桡足类	球状许水蚤 <i>Schmackeria forbesi</i>	0.6	2.6	0	0	0	0	0	0
	锯缘真剑水蚤 <i>Eucyclops serrulatus</i>	43.3	48.0	31.3	28.1	23.4	30.7	36.6	44.2
	广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	0	0	0	0	7.9	0	0	0
	粗壮温剑水蚤 <i>Thermocyclops dybowskii</i>	0	0	0	0	0	0.7	0	0
线形纲	线虫 <i>Dorylaimus</i> sp.	0	14.7	17.3	16.5	20.6	20.6	28.1	19.4
介形类	泥介虫 <i>Ilyocypris</i> sp.	0.8	0.2	0.9	0	0	0	0.8	0.1
	真介虫 <i>Eucypris</i> sp.	0	0	0	0	1.3	0.4	0	0
昆虫纲	羽摇蚊幼虫 <i>Chironomus plumosus</i>	35.5	13.9	30.0	25.5	21.7	22.8	29.5	32.5
	个体数	356	422	255	234	525	462	420	495
	物种数	5	8	5	6	8	7	5	5
	共有物种数	5		4		6		5	
	群落相似性指数	0.77		0.73		0.80		1.00	

表 2 HH1 与 MH63 生境稻田浮游动物群落组成、种群密度百分比及时间动态 (湘潭, 2013)

Table 2 Species composition, density percentage of the population and their temporal dynamics of zooplankton communities in paddy fields planting HH1 and MH63 rice (Xiangtan, 2013)

分类地位	物种(类)	07-12		07-26		08-08		08-27	
		HH1	MH63	HH1	MH63	HH1	MH63	HH1	MH63
肉足虫纲	针棘匣壳虫 <i>Centropyxis aculeata</i>	0	0	0	0	0	0	0.2	0
轮虫纲	剪形臂尾轮虫 <i>Brachionus forficula</i>	0	0	0	0	0	0	0.07	0.2
	十指平甲轮虫 <i>Platyas militaris</i>	0	0	0	0	0	0	0	0.06
	蹄形腔轮虫 <i>Lecane unguolata</i>	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2
	囊形单趾轮虫 <i>Monostyla bulla</i>	0	0	0	0	0	0	0	0.2
甲壳纲	直额弯尾溞 <i>Camptocercus rectirostris</i>	0	0	0	0	0	0	0.3	0
枝角类	肋形尖额溞 <i>Alona costata</i>	1.7	0.5	0.1	0.03	0	0.3	0.7	0.1
	矩形尖额溞 <i>Alona rectangula</i>	0	0	0	0	0.4	0	0	0.6
	近亲尖额溞 <i>Alona affinis</i>	0	0	0	0	0	0	0.06	0
	镰角锐额溞 <i>Alonella excisa</i>	0	0	0	0	0	0	0.04	0
	长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	0.01	0	0	0	0	0	0	0
	拟溞 <i>Daphniopsis</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0.01	0
	方形网纹溞 <i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	0.6	0	0	0	0.4	0.3	0.9	0
	多刺裸腹溞 <i>Moina macrocopa</i>	24.3	23.3	36.5	36.0	29.1	20.6	16.9	15.7
	微型裸腹溞 <i>Moina micrura</i>	2.6	2.1	2.4	0.6	0	0.3	0	0.3
	枝角类 1 种(未鉴定)	1.9	2.1	4.6	3.4	4.6	3.6	7.7	17.3
桡足类	锯缘真剑水蚤 <i>Eucyclops serrulatus</i>	27.8	24.6	20.0	19.7	22.3	29.4	32.5	19.2
	广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	4.1	3.6	0.4	0.4	8.8	6.0	8.0	4.7
	粗壮温剑水蚤 <i>Thermocyclops dybowskii</i>	2.3	0.9	0.2	0	0	0	0	0
	桡足类 1 种(未鉴定)	0	0	0	0	0	0	0.9	0
线形纲	线虫 <i>Dorylaimus</i> sp.	14.7	17.7	9.6	20.8	8.5	15.6	10.8	18.6
介形纲	泥介虫 <i>Ilyocypris</i> sp.	0	0.3	0.2	0.3	0	0	0	0
	真介虫 <i>Eucypris</i> sp.	0	0	0	0	0.5	0	2.3	0.2
昆虫纲	羽摇蚊幼虫 <i>Chironomus plumosus</i>	20.0	25.0	26.0	18.8	25.4	23.9	18.6	22.6
	水生昆虫幼虫 1 种(未鉴定)	0	0	0	0.2	0	0	0	0
	个体数	790	754	887	824	1014	1039	943	1084
	物种数	11	10	10	10	9	9	17	14
	共有物种数	9		9		7		10	
	群落相似性指数	0.86		0.90		0.78		0.65	

表 3 HH1 与 MH63 生境稻田浮游动物群落组成、种群密度百分比及时间动态 (湘潭, 2014)

Table 3 Species composition, density percentage of the population and their temporal dynamics of zooplankton communities in paddy fields planting HH1 and MH63 rice (Xiangtan, 2014)

物种(类)	07-05		07-21		08-05		08-20		
	HH1	MH63	HH1	MH63	HH1	MH63	HH1	MH63	
枝角类	平突船卵溞 <i>Scapholeberis mucronata</i>	0.08	0.06	0	0	0	0	0	0
	蚤状溞 <i>Daphnia pulex</i>	0	0.02	0.03	0	0	0	0	0
	老年低额溞 <i>Simocephalus vetulus</i>	0	0.2	0.06	0	0	0	0	0
	方形网纹溞 <i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	0.9	0	0	0	0	0	0	0
	角突网纹溞 <i>Ceriodaphnia cornuta</i>	0.03	0.06	0	0	0	0	0	0
	多刺裸腹溞 <i>Moina macrocopa</i>	66.1	79.8	70.8	75.7	14.8	29.9	0	0
	微型裸腹溞 <i>Moina micrura</i>	2.4	0.3	0.3	0.4	0	0	0	0
	枝角类 1 种(未鉴定)	1.9	2.6	0	0	0	0	0	0
桡足类	锯缘真剑水蚤 <i>Eucyclops serrulatus</i>	10.8	6.8	14.8	15.8	32.4	11.9	20.6	52.3
	广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>	0.8	0	0	4.3	0	0	0	0
	桡足类 1 种(未鉴定)	0	0	0	0	3.2	0	0	0
线形纲	线虫 <i>Dorylaimus</i> sp.	8.0	0	4.9	0	20.3	29.0	6.9	40.0
介形类	泥介虫 <i>Ilyocypris</i> sp.	0.3	0.4	2.6	1.8	0	0	0	7.7
	真介虫 <i>Eucypris</i> sp.	0	0	0	0	0	0	55.9	0
昆虫纲	羽摇蚊幼虫 <i>Chironomus plumosus</i>	8.6	9.8	6.4	2.0	29.2	29.2	16.6	0
	个体数	1063	822	595	517	222	255	126	100
	物种数	11	10	8	6	5	4	4	3
	共有物种数	8		5		4		2	
	群落相似性指数	0.76		0.71		0.89		0.57	

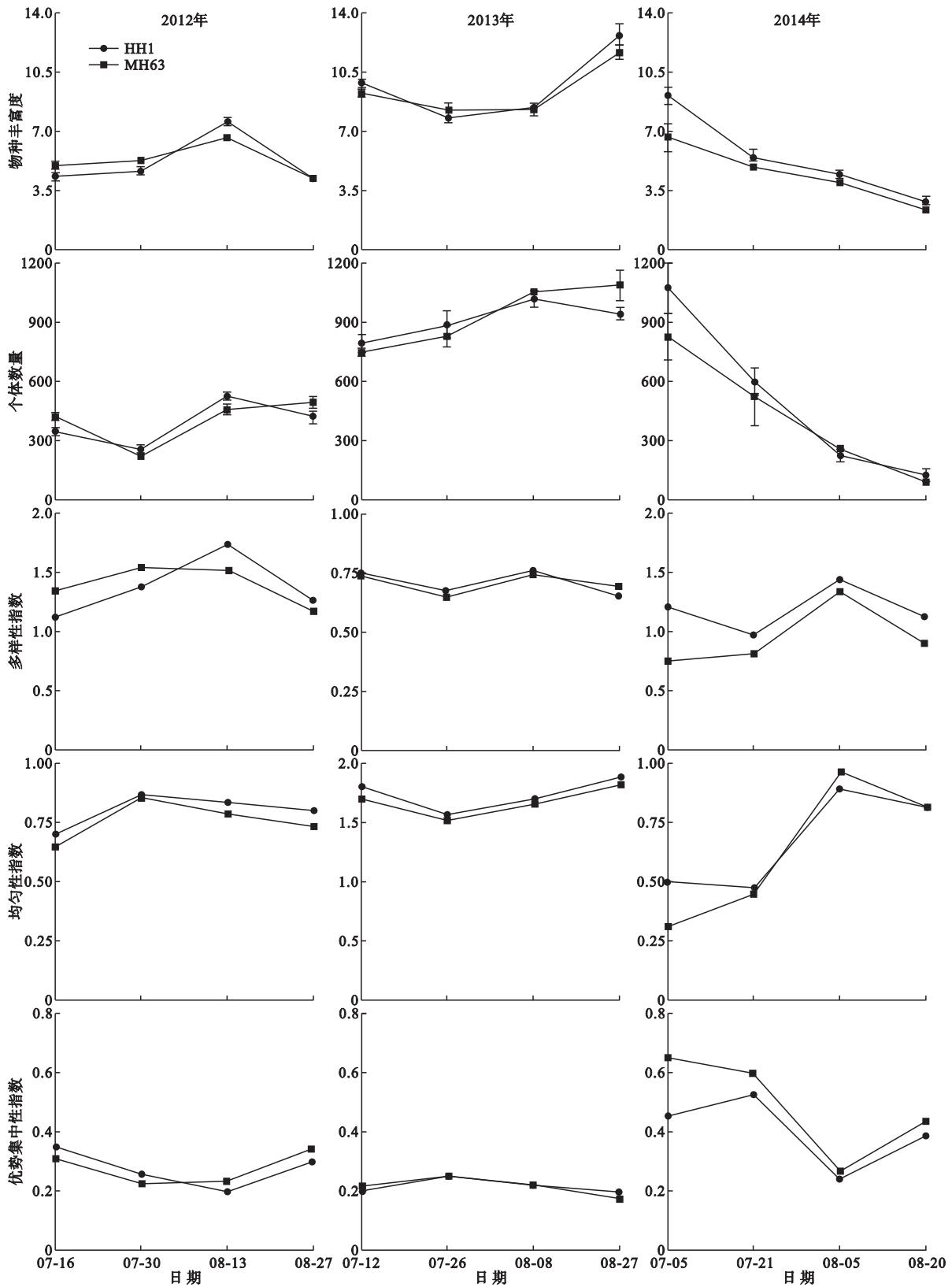


图1 HH1与MH63稻田浮游动物群落物种丰富度(S)、个体数量(N)、多样性指数(H)、均匀性指数(J)与优势集中性指数(C)时间动态比较(平均值 \pm SE, $n=9$)

Fig.1 Comparison of dynamic of indexes of species richness (S), individual number (N), diversity (H), evenness (J) and dominant concentration (C) of zooplankton communities in paddy fields planting HH1 and MH63 (mean \pm SE, $n=9$)

表 4 HH1 与 MH63 稻田浮游动物群落物种组成及优势种组成相似性系数

Table 4 Similarity coefficient of species and dominant composition of zooplankton communities between paddy fields planting HH1 and MH63 rice

年-水稻品种	2012-HH1	2012-MH63	2013-HH1	2013-MH63	2014-HH1	2014-MH63
2012-HH1	-	1.00	1.00	0.89	0.89	1.00
2012-MH63	0.86	-	1.00	0.89	0.89	1.00
2013-HH1	0.50	0.48	-	0.89	0.89	1.00
2013-MH63	0.57	0.55	0.70	-	0.80	0.89
2014-HH1	0.72	0.62	0.59	0.61	-	0.89
2014-MH63	0.73	0.61	0.47	0.53	0.89	-

对角线左下方为群落物种组成相似性, 对角线右上方为群落优势种组成相似性。

表 5 HH1 与 MH63 生境稻田浮游动物群落结构特征参数比较

Table 5 Comparison of community parameters of zooplankton communities between paddy fields planting HH1 and MH63 rice

年份	稻系	物种丰富度(<i>S</i>)	个体数量(<i>N</i>)	多样性指数(<i>H</i>)	均匀性指数(<i>J</i>)	优势集中性指数(<i>C</i>)
2012	HH1	5.75±0.75	389.03±56.70	1.38±0.13	0.80±0.04	0.28±0.03
	MH63	6.50±0.65	403.03±58.44	1.40±0.09	0.76±0.04	0.28±0.03
	$P_{HH1-MH63}$	0.477	0.869	0.903	0.467	1.000
2013	HH1	11.75±1.80	908.56±47.40	1.73±0.07	0.71±0.03	0.22±0.01
	MH63	10.75±1.11	925.11±80.34	1.68±0.06	0.71±0.02	0.22±0.01
	$P_{HH1-MH63}$	0.653	0.865	0.605	1.000	1.000
2014	HH1	7.00±1.58	501.63±212.66	1.19±0.10	0.67±0.11	0.41±0.06
	MH63	5.75±1.55	423.34±158.26	0.95±0.13	0.64±0.15	0.49±0.09
	$P_{HH1-MH63}$	0.593	0.778	0.197	0.857	0.461

平均值±SE, $n=4$ 。

2012 年、2013 年与 2014 年连续 3 年的总体调查结果显示, HH1 稻田浮游动物群落物种丰富度、个体数量、多样性指数、均匀性指数与优势集中性指数均为略高于或略低于 MH63 稻田, 但均无显著差异(表 5)。

3 讨论

连续 3 年在湖南省湘潭市的田间种植实验表明, 在群落总体与优势种亚群落水平上, 未发现转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻 HH1 对稻田生境中浮游动物群落的物种组成、优势种组成、物种丰富度、个体数量、多样性指数、均匀性指数及优势集中性指数产生不良影响。

群落物种相似性指的是群落间或取样间物种组成的相似程度, 它是群落分析的一个重要基础。通过对群落的结构动态、群落的相似性比较进行群落相似性分析, 能较客观地反映不同群落间的相似程度。当相似性系数达到 0.5~0.6 时, 可以认为群落间的相似程度已经很高(刘雨芳等, 2003)。2012、2013 和 2014 连续 3 年在湖南省湘潭市种植转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻 HH1 与其非转基因亲本对照 MH63, 两稻田生境中浮游动物群落物种组成相似性

系数与优势种组成相似性系数均 ≥ 0.57 。说明转 *Cry1Ab/Ac* 基因抗虫水稻 HH1 与非转基因稻 MH63 稻田浮游动物群落非常相似, HH1 对稻田浮游动物群落没有产生明显的负影响。浮游动物群落物种数、丰富度和物种多样性指数等结构参数均能客观地反映水质状况及其变化趋势。其中物种多样性指数可直接反映生物群落本身结构的复杂程度、稳定性大小和生态环境质量的优劣(宁应之等, 2011)。以物种数及个体数量等生物多样性为侧重点的 Shannon 多样性指数较好地反映了底栖动物及水环境的原始状况(董贯仓等, 2015)。这与转 *Bt* 水稻在土壤微生物群落与分解功能方面没有显著差异(Lu *et al.*, 2010)、对捕食性节肢动物没有显著影响(Xu *et al.*, 2011)、不改变土壤细菌的功能(Fang *et al.*, 2012)对线虫数量和群落结构的影响不显著(戚琳等, 2013; Yuan *et al.*, 2013)、不会对褐飞虱及蜘蛛、黑肩绿盲蝽(梁玉勇等, 2014)等研究结果一致, 与 HH1 将成为抗虫转基因水稻的重要角色, 它在经济有效地控制鳞翅类昆虫的同时给环境带来低风险(Chen *et al.*, 2011)、转基因水稻对非靶标节肢动物是安全的(Bai *et al.*, 2012; 刘雨芳, 2014)及有利于稻田生态系统中生物多样性的恢复(Li *et al.*, 2014)

的结论也是一致的。

本试验仅从群落水平上探讨转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻 HH1 对稻田浮游动物群落物种多样性的影响, 大田种植转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻 HH1 是否影响稻田浮游动物的物种竞争能力与生态功能等有待进一步研究。

参考文献

- 董贯仓, 刘超, 李秀启, 等. 2015. 东平湖底栖动物群落特征及水环境分析. 生物学杂志, **32**(1): 39-43.
- 董聿茂, 戴爱云, 蒋燮治, 等. 1982. 中国动物图谱(甲壳动物). 北京: 科学出版社.
- 桂芳艳, 刘雨芳, 莫书银, 等. 2015a. 转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻对稻田底栖动物群落的生态安全性. 植物保护学报, **42**(5): 715-723.
- 桂芳艳, 刘雨芳, 莫书银, 等. 2015b. 转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻对稻田底栖动物群落的影响. 中国生态农业学报, **23**(9): 1178-1184.
- 韩茂森, 孙明霞, 胡维兴, 等. 1980. 淡水浮游生物图谱. 北京: 农业出版社.
- 何先进, 吴鹏飞. 2012. 成都市区淡水浮游动物多样性初步调查. 西南农业学报, **25**(2): 731-735.
- 李菲, 刘雨芳, 孙远东, 等. 2014. 泥鳅对饲料中添加转融合基因 *Cry1Ab/Ac* 水稻花粉的响应. 生态学杂志, **33**(10): 2727-2732.
- 李菲, 刘雨芳, 孙远东, 等. 2014. 转融合基因 *Cry1Ab/Ac* 水稻稻秆对泥鳅蛋白水解酶和乙酰胆碱酯酶活性的影响. 生命科学研究, **18**(3): 189-194.
- 梁玉勇, 程正新, 程森弟, 等. 2014. *Bt* 水稻对褐飞虱及其二种天敌种群动态的影响. 应用昆虫学报, **51**(5): 1163-1172.
- 刘雨芳, 古德祥, 张古忍. 2003. 广东双季稻田杂草地和稻田中捕食性节肢动物的群落动态. 昆虫学报, **46**(5): 591-597.
- 刘雨芳, 贺玲, 汪琼, 等. 2006. 转 *cry1Ac/sck* 基因抗虫水稻对稻田寄生蜂群落影响的评价. 昆虫学报, **49**(6): 955-962.
- 刘雨芳, 贺玲, 汪琼, 等. 2007. 转 *cry1Ac/sck* 基因抗虫水稻对稻田主要非靶标害虫的田间影响评价. 中国农业科学, **40**(6): 1181-1189.
- 刘雨芳. 2014. 转 *Bt* 抗虫稻对地上非靶标节肢动物的生态风险性. 应用昆虫学报, **51**(5): 1133-1142.
- 宁应之, 王红军, 禹娟红, 等. 2011. 甘肃定西华家岭土壤纤毛虫群落对生态恢复的响应. 动物学研究, **32**(2): 223-231.
- 戚琳, 陈法军, 刘满强, 等. 2013. 三种转 *Bt* 水稻短期种植对土壤微生物生物量和线虫群落的影响. 生态学杂志, **32**(4): 975-980.
- 邵卫伟, 于海燕, 徐杭英, 等. 2013. 浙江省主要常见淡水浮游动物图集(饮用水水源). 北京: 中国环境出版社.
- 沈嘉瑞, 宋大祥, 戴爱云, 等. 1979. 中国动物志(节肢动物门: 甲壳纲). 北京: 科学出版社.
- 孙远东, 刘雨芳, 李菲, 等. 2015. 泥鳅生长及抗氧化-解毒酶系统对水体中转 *Cry1Ab/Ac* 基因水稻残遗物的响应. 中国生态农业学报, **23**(1): 95-101.
- 谭树华, 刘雨芳, 孙远东, 等. 2014. 中华圆田螺抗氧化-代谢酶系统对转 *Cry1Ab/Ac* 基因抗虫水稻的响应. 生态毒理学学报, **9**(3): 517-523.
- 周凤霞, 陈剑虹. 2011. 淡水微型生物与底栖动物图谱. 北京: 化学工业出版社.
- Aygen C, Mis DO, Ustaoglu MR, et al. 2009. Zooplankton composition and abundance in Lake Eğrigöl, a high mountain lake (Gündoğmuş, Antalya). *Turkish Journal of Zoology*, **33**: 83-88.
- Bai YY, Yan RH, Ye GY, et al. 2012. Field response of aboveground non-target arthropod community to transgenic *Bt-Cry1Ab* rice plant residues in postharvest seasons. *Transgenic Research*, **21**: 1023-1032.
- Chen M, Shelton A, Ye GY, et al. 2011. Insect-resistant genetically modified rice in China: From research to commercialization. *Annual Review of Entomology*, **56**: 81-101.
- Crispim MC, Araújo KPP, Júnior HNM, et al. 2013. Environmental impact analysis of aquaculture in net cages in a Brazilian water reservoir, based in zooplankton communities. *African Journal of Biotechnology*, **12**: 2234-2248.
- Fang H, Dong B, Yan H, et al. 2012. Effect of vegetation of transgenic *Bt* rice lines and their straw amendment on soil enzymes, respiration, functional diversity and community structure of soil microorganisms under field conditions. *Journal of Environmental Sciences*, **24**: 1259-1270.
- Li GS, Wang YM, Liu B, et al. 2014. Transgenic *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) rice is safer to aquatic ecosystems than its non-transgenic counterpart. *PLoS One*, **9**: e104270.
- Liu YB, Ge F, Liang YY, et al. 2015. Characterization of competitive interactions in the coexistence of *Bt*-transgenic and conventional rice. *BMC Biotechnology*, **15**: 27.
- Lu HH, Wu WX, Chen YX, et al. 2010. Decomposition of *Bt* transgenic rice residues and response of soil microbial community in rapeseed-rice cropping system. *Plant and Soil*, **336**: 279-290.
- Mozumder PK, Naser MN, Alam M, et al. 2011. Abundance and seasonal diversity of zooplankton in coastal aquatic environments of Mathbaria, Bangladesh. *Dhaka University Journal of Biological Sciences*, **20**: 163-171.
- Roy SP, Roy R, Prabhakar AK, et al. 2014. Spatio-temporal distribution and community structure of zooplankton in the Gangetic Dolphin Sanctuary, 2009. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, **16**: 374-384.
- Sellami I, Romdahane SB, Guermaz W, et al. 2012. Seasonal dynamics of plankton communities coupled with environmental factors in a semi arid area: Sidi Saâd reservoir (Center of Tunisia). *African Journal of Biotechnology*, **11**: 865-877.
- Xu XX, Han Y, Wu G, et al. 2011. Field evaluation of effects of transgenic *cry1Ab/cry1Ac*, *cry1C* and *cry2A* rice on *Cnaphalocrocis medinalis* and its arthropod predators. *Science China Life Sciences*, **54**: 1019-1028.
- Yuan YY, Xiao NW, Krogh PH, et al. 2013. Laboratory assessment of the impacts of transgenic *Bt* rice on the ecological fitness of the soil non-target arthropod, *Folsomia candida* (Collembola: Isotomidae). *Transgenic Research*, **22**: 791-803.

作者简介 莫书银,女,1989年生,硕士研究生,主要从事转 *Bt* 基因抗虫水稻的安全性评价研究。E-mail: shuyinmo@qq.com
责任编辑 李凤芹