

彩色稻对稻纵卷叶螟的发生危害程度及其卵寄生蜂寄生行为的影响

郑许松^{1,2}, 田俊策¹, 侯建军³, 吕仲贤¹

(¹浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所/浙江省植物有害生物防控省部共建国家重点实验室培育基地, 杭州 310021; ²农业农村部创意农业重点实验室, 杭州 310021; ³安吉县植保站, 浙江安吉 313300)

摘要:【目的】应用彩色稻进行田间彩绘是创意农业的重要组成部分, 但这可能影响水稻病虫害的发生和危害。本研究旨在探明彩色稻对水稻主要食叶害虫稻纵卷叶螟 (*Cnaphalocrocis medinalis*) 及其卵寄生蜂的影响, 为创意农业稻田稻纵卷叶螟的防治提供理论依据。【方法】比较稻纵卷叶螟在紫色稻、黄色稻和常规稻 (对照) 上的生物学特性, 包括幼虫及蛹的历期、幼虫及蛹的存活率、蛹重和性比等; 比较稻纵卷叶螟成虫在彩色稻和常规稻之间的产卵选择性; 比较稻纵卷叶螟的重要卵寄生蜂螟黄赤眼蜂 (*Trichogramma chilonis*) 和稻螟赤眼蜂 (*T. japonicum*) 对彩色稻和常规稻上稻纵卷叶螟卵的寄生选择性, 并在大田条件下调查彩色稻稻田和用紫色稻写字的创意稻田中稻纵卷叶螟的发生情况。【结果】室内试验结果表明, 稻纵卷叶螟趋向于在彩色稻上产卵, 在彩色稻上的产卵百分比达 60% 以上, 显著高于常规稻, 同时稻纵卷叶螟在彩色稻上的生态适应性高于常规稻, 用紫色稻和黄色稻叶片饲养的稻纵卷叶螟幼虫存活率和蛹存活率均显著高于常规稻。彩色稻对稻纵卷叶螟的发育历期、蛹重和性比无显著影响。不同赤眼蜂对不同水稻品种上稻纵卷叶螟卵的寄生选择性有差异, 螟黄赤眼蜂偏向寄生紫色稻上的卵, 对黄色稻的选择性最低, 但寄生率无显著差异; 而稻螟赤眼蜂偏向寄生绿色常规稻上的稻纵卷叶螟卵, 对紫色稻上稻纵卷叶螟卵的选择性最低。3 种水稻同时存在的情况下, 稻螟赤眼蜂对常规稻上稻纵卷叶螟卵的寄生率是紫色稻上的 4.3 倍, 是黄色稻上的 2.1 倍。在大田情况下, 紫色稻和黄色稻稻田中稻纵卷叶螟卷叶率和幼虫密度显著高于常规稻田, 紫色稻的稻纵卷叶螟卷叶率最高, 为 15.3%, 是常规稻的 10.9 倍, 黄色稻的 3 倍; 紫色稻和黄色稻的稻纵卷叶螟残虫率分别为 4.5% 和 3.3%, 也显著高于常规稻 (1.1%)。以紫色稻进行田间彩绘时, 紫色稻上的稻纵卷叶螟卷叶率均在 6% 以上, 显著高于常规稻田 (4% 以下)。【结论】彩色稻相对于常规水稻更易于吸引稻纵卷叶螟危害, 且稻纵卷叶螟在彩色稻上的生态适应性高于常规稻, 而稻螟赤眼蜂对紫色稻上稻纵卷叶螟卵的选择性最低, 不利于紫色稻上稻纵卷叶螟的生物防控。在利用彩色稻进行创意农业稻田彩绘时应充分考虑其负面的生态影响, 并制定针对性防治策略。

关键词: 观赏水稻; 稻纵卷叶螟; 产卵选择性; 生态适应性; 寄生偏好

Effects of Colorful Rice on the Degree of Occurrence and Damage by *Cnaphalocrocis medinalis* and Parasitic Behavior of Its Egg Parasitoids

ZHENG XuSong^{1,2}, TIAN JunCe¹, HOU JianJun³, LÜ ZhongXian¹

(¹Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences/China National Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable Pest and Disease Control, Hangzhou 310021;

²Laboratory of Creative Agriculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hangzhou 310021;

³Anji Plant Protection Station, Anji 313300, Zhejiang)

收稿日期: 2018-04-28; 接受日期: 2018-08-07

基金项目: 浙江省重点研发计划 (2015C02016)、国家水稻产业技术体系 (CARS-01-36)、浙江省植物有害生物防控省部共建国家重点实验室培育基地自主设计项目 (2010DS700124-ZZ1601)

联系方式: 郑许松, E-mail: zhengxs0502@sina.com. 通信作者吕仲贤, E-mail: luzxmh@163.com

Abstract: 【Objective】 The application of colorful rice in field painting is an important part of creative agriculture, but it may affect the occurrence and damage of the main pests in paddy field. The objective of this study is to investigate the effects of colorful rice on *Cnaphalocrocis medinalis* and its egg parasitic wasps, and to provide a theoretical basis for the control of *C. medinalis* in creative agriculture. 【Method】 The biological characteristics of *C. medinalis* in purple rice, yellow rice and common rice (control) were compared, including the developmental duration of larval and pupal stage, survival rate of larvae and pupae, pupal weight and sex ratio. The oviposition selectivity of *C. medinalis*, and parasitic selectivity of its important egg parasitoids (*Trichogramma chilonis* and *Trichogramma japonicum*) between colorful rice and common rice were also compared. The occurrence of *C. medinalis* in colorful rice paddy field and creative field painting with purple rice was investigated as well. 【Result】 The results of laboratory test showed that *C. medinalis* preferred to lay eggs on colorful rice, and the percentage of egg laying on colorful rice was more than 60%, which was significantly higher than that of green common rice. The ecological fitness of *C. medinalis* on colorful rice was higher than that on green common rice. The larval and pupae survival rates of *C. medinalis* fed with purple rice and yellow rice were significantly higher than those of common rice. The colorful rice had no significant effect on the developmental duration, pupal weight and sex ratio of *C. medinalis*. The parasitic selectivity of different *Trichogramma* species to the eggs of *C. medinalis* on different rice varieties was different. *T. chilonis* preferred to parasitize the *C. medinalis* eggs laid on purple rice, and had the lowest parasitic selectivity on yellow rice, but the parasitic rate had no significant difference. However, *T. japonicum* preferred to parasitize the eggs laid on green common rice, and had the lowest selectivity of the eggs laid on purple rice. The parasitic rate of *T. japonicum* on the eggs of common rice was 4.3 times higher than that of purple rice and 2.1 times higher than that of yellow rice when three kinds of rice existed at the same time. The rate of rolled leaf caused by *C. medinalis* and the larva density in colorful rice field were significantly higher than those in common rice field. The rate of rolled leaf in purple rice area was the highest (15.3%), which was 10.9 times of that of common rice and 3 times of that of yellow rice. The residual rate of *C. medinalis* in purple rice and yellow rice was 4.5% and 3.3%, respectively, which was significantly higher than that of common rice (1.1%). When purple rice was used to write Chinese characters in paddy field, the rate of rolled leaf in purple rice was above 6%, which was significantly higher than that in common rice field (below 4%). 【Conclusion】 Compared with common rice, colorful rice is easier to attract *C. medinalis*, and the ecological fitness of *C. medinalis* on colorful rice is higher than that of common rice, while *T. japonicum* has the lowest selectivity to *C. medinalis* eggs on purple rice. It is unfavorable to biological control of *C. medinalis* on purple rice. The negative ecological effects should be fully considered when using colorful rice to paint the creative agricultural paddy fields, and corresponding control strategies should be worked out.

Key words: ornamental rice; *Cnaphalocrocis medinalis*; oviposition preference; ecological fitness; parasitic preference

0 引言

【研究意义】在杂交水稻生产中,为实现杂交种子纯度的快速鉴定,防患因不育系在异常天气条件下出现自交带来的风险,一些叶色突变基因彩色稻,如黄叶^[1-2]、紫叶^[3-4]等被用作标记性状导入杂交水稻不育系。近年来,随着乡村振兴战略开始全面部署实施,美丽乡村建设成为推进生态文明建设和提升社会主义新农村建设的新工程、新载体^[5]。其中应用彩色稻进行稻田彩绘是创意农业的重要内容之一^[6]。然而,稻田彩绘可能会影响水稻害虫的发生和危害情况,一方面,不同的水稻品种自身对害虫有不同的生态适应性^[7-8],另一方面,害虫及其天敌对不同水稻品种也可能存在不同的适应及识别能力^[9-11],进而影响彩色稻的害虫治理策略。因此,进行水稻害虫及其天敌对彩色稻的反应评价,对建立合适的水稻害虫防治技术体系具有重要意义。【前人研究进展】稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis*

medinalis)是稻田最重要的害虫之一,其在2000年以后发生日益严重^[12]。目前,稻田彩绘最常见的为黄色稻和紫色稻搭配常规绿叶稻进行稻田作画和写字等创作。稻田彩绘使稻田中品种结构、区域色彩发生了巨大变化,这可能会对稻纵卷叶螟及其天敌的行为和发生产生影响,然而目前还未有相关的研究报道。稻螟赤眼蜂(*Trichogramma japonicum*)和螟黄赤眼蜂(*Trichogramma chilonis*)是稻纵卷叶螟的优势卵寄生蜂^[13],对稻纵卷叶螟具有良好的自然控制作用。但由于赤眼蜂具有显著的趋色行为^[11],其在彩色稻稻田对稻纵卷叶螟的控制作用有待进一步研究。【本研究切入点】有鉴于此,在室内和大田条件下开展彩色稻对稻纵卷叶螟生物学特性和产卵选择性的影响,对稻螟赤眼蜂和螟黄赤眼蜂寄生选择性的影响,以及大田条件下对稻纵卷叶螟田间发生的影响。【拟解决的关键问题】探究彩色稻稻田中稻纵卷叶螟的发生规律以及彩色稻对稻纵卷叶螟两种重要卵寄生性天敌选择性的

影响,为相应的防治策略提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试水稻

水稻品种紫色稻(Z19)、黄色稻(H03)由浙江省农业科学院作物与核技术利用研究所提供,常规稻对照品种为秀水519。3种水稻品种均播种于浙江省农业科学院实验农场的温室大棚中,移栽后30—45日龄的稻株用于试验。

1.2 供试昆虫

稻纵卷叶螟种群采自杭州萧山稻田,在室内于水稻上饲养1代后用于试验。稻螟赤眼蜂和螟黄赤眼蜂采自杭州萧山稻田中被寄生的二化螟卵和稻纵卷叶螟卵,在实验室培养获得。赤眼蜂种群用已灭活的米蛾(*Corcyra cephalonica*)卵在培养箱内(相对湿度(75±5)%,温度(28±1)℃)繁殖多代后用于试验。

1.3 彩色稻对稻纵卷叶螟生物学特性的影响

以蘸水脱脂棉擦拭稻株的每张叶片,确保供试稻株叶片上没有稻纵卷叶螟卵。然后将供试稻丛罩入聚乙烯笼,接入产卵期稻纵卷叶螟2对,产卵24h后,移出成虫,将稻纵卷叶螟在叶片上产的卵计数、标记。每天观察卵的变化,直至孵化。初孵幼虫移入养虫盒中,将洗净的同种水稻叶片下部用湿棉花包住铺在养虫盒底部,供稻纵卷叶螟幼虫取食。定期更换新鲜洗净的同种水稻叶片,每天观察记录幼虫存活、蜕皮情况,直至化蛹,称新鲜蛹重。然后将蛹移入培养皿,底部垫滤纸,并保持一定的湿度,直到虫蛹羽化。记录幼虫及蛹的历期、幼虫及蛹的存活率及成虫性比,每一重复初始虫量100头,重复3次。试验在温度(26±1)℃,相对湿度(75±5)%,光周期12L:12D的人工气候室中进行。

1.4 稻纵卷叶螟在彩色稻和常规稻间的产卵选择性

用湿脱脂棉将彩色稻和常规稻盆栽苗叶片擦拭干净,用于产卵选择性试验。试验1:稻纵卷叶螟在单种彩色稻和常规稻之间的产卵选择性。在一个养虫笼中放紫色稻(或黄色稻)和常规稻各2盆,十字交叉排列。接入5对产卵盛期的稻纵卷叶螟,在笼中放含10%的蔗糖液的脱脂棉球一个,产卵2d后,拿出水稻,计数每盆水稻上的稻纵卷叶螟卵量;试验2:稻纵卷叶螟在紫色稻、黄色稻和常规稻之间的产卵选择性。养虫笼中放入紫色稻、黄色稻和常规稻各1盆,接入产卵盛期的稻纵卷叶螟8对,其他操作和步骤与试验1同。试验

均在温度(26±1)℃,相对湿度(75±5)%,光周期12L:12D的人工气候室中进行,均重复10次。

1.5 彩色稻对天敌寄生选择性的影响

试验1:赤眼蜂对单种彩色稻和常规稻上稻纵卷叶螟卵之间的寄生选择性;试验2:赤眼蜂对紫色稻、黄色稻和常规稻3种水稻上稻纵卷叶螟卵之间的产卵选择性。先让稻纵卷叶螟在水稻上产卵,试验步骤同1.4,产卵结束后计数并标记稻叶上的稻纵卷叶螟卵,适当修剪叶片,使彩色稻和常规稻上的卵量接近,然后分别接入稻螟赤眼蜂或螟黄赤眼蜂雌雄各一头任其寄生稻纵卷叶螟卵,24h后移去赤眼蜂。4d后在双筒体视镜下检查叶片上稻纵卷叶螟卵的寄生率。各重复15次。试验条件为温度(26±1)℃,光周期12L:12D。

1.6 彩色稻对稻纵卷叶螟田间发生的影响

试验于2017年进行,在浙江省安吉县天子湖镇高禹村种植紫色稻、黄色稻和常规稻(秀水519)各3个小区,按3×3拉丁方设计排列,各小区面积均约为430m²,于6月10日统一直播,各水稻品种栽培及肥水管理一致。于稻纵卷叶螟田间发生盛期(8月7日),调查稻田中的稻纵卷叶螟卷叶率和卷叶中的残虫率。对角线五点取样,每点调查10丛稻的叶片数和卷叶数,每点采集100张卷叶,剖查其中的稻纵卷叶螟活幼虫数。卷叶率(%)=(卷叶数/总叶数)×100;残虫率(%)=(幼虫数/卷叶数)×100。

1.7 彩色稻田间创意对稻纵卷叶螟田间发生的影响

试验于2017年在浙江省安吉县天子湖镇高禹村进行,以紫色稻在稻田中书写“美丽安吉”4个字(长、宽均为5m),常规的绿色稻品种为秀水519,栽培及肥水等日常管理按当地常规。于稻纵卷叶螟田间发生盛期(8月7日),调查每个创意文字紫色稻上及距离创意文字5m并与创意文字紫色稻相同面积(25m²)的常规稻上稻纵卷叶螟的卷叶率,分别随机调查50丛稻的叶片数和卷叶数,计算卷叶率。均重复3次。

1.8 数据处理与统计

彩色稻对稻纵卷叶螟生物学特性、田间发生影响的数据采用单因素方差分析(Tukey);稻纵卷叶螟对水稻的产卵选择性和彩色稻对天敌寄生选择性的影响进行两个相关样本的非参数检验(Wilcoxon)或3个相关样本的非参数检验(Friedman);彩色稻田间创意对稻纵卷叶螟田间发生的影响进行t测验分析。所有分析均采用DPS软件完成^[14]。

2 结果

2.1 彩色稻对稻纵卷叶螟生物学特性的影响

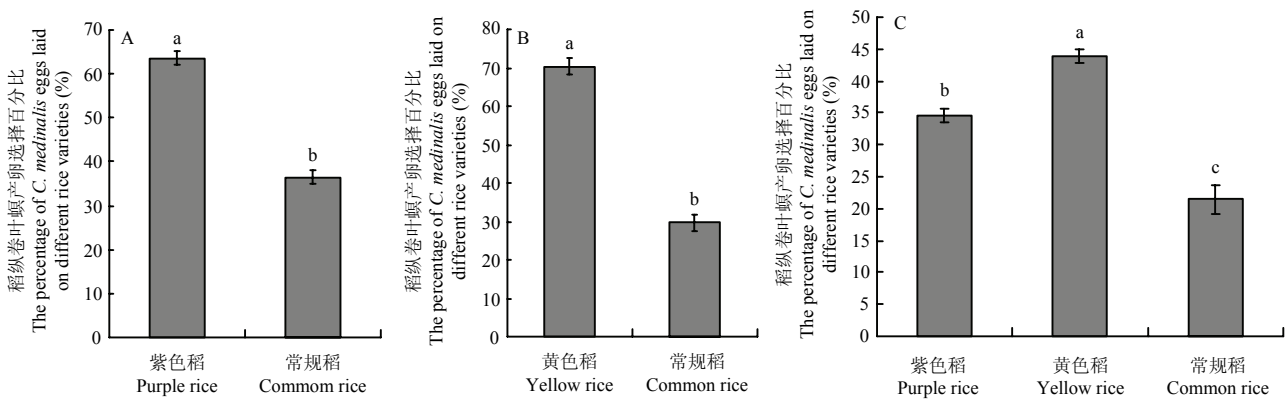
彩色稻对稻纵卷叶螟的生长发育产生了显著的影响，用紫色稻和黄色稻叶片饲养的稻纵卷叶螟幼虫存活率和蛹存活率均显著高于常规稻。取食紫色稻的稻纵卷叶螟蛹重显著低于黄色稻，但取食黄色稻和取食紫色稻的稻纵卷叶螟蛹重与常规稻无显著差异。彩色稻对稻纵卷叶螟的发育历期和性比无显著影响（表 1）。

表 1 彩色稻对稻纵卷叶螟生物学特性的影响

Table 1 Effect of colorful rice on life table parameters of *C. medinalis*

观察项目 Observing item	虫态 Insect stage	紫色稻 Purple rice	黄色稻 Yellow rice	常规稻 Common rice	单因素方差分析 One-way ANOVA
存活率 Survival rate (%)					
	幼虫 Larval stage	34.2±1.3a	30.9±1.2a	26.8±1.1b	$F=5.559, P=0.043$
	蛹 Pupal stage	86.2±2.2a	83.4±1.8a	75.0±1.7b	$F=23.25, P<0.001$
发育历期 Developmental duration (d)					
	幼虫 Larval stage	15.2±0.8a	15.4±0.9a	15.7±0.7a	$F=0.276, P=0.768$
	蛹 Pupal stage	5.9±0.2a	5.8±0.2a	6.1±0.3a	$F=0.656, P=0.552$
蛹重 Pupal weight (mg)		20.2±0.9b	22.8±1.2a	20.7±0.9ab	$F=5.733, P=0.410$
性比 Sex ratio (♀/♂)		1.2±0.1a	1.1±0.2a	1.0±0.2a	$F=0.899, P=0.456$

数据均为平均值±标准误。下同 Data are mean±SE. The same as below
同行不同小写字母表示经 Tukey 单因素方差分析检验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著 Different lowercases in the same row indicate significant difference at $P<0.05$ level by Tukey test



A、B 图不同小写字母表示经 2 个相关样本的非参数检验（Wilcoxon）法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著；C 图不同小写字母表示经 3 个相关样本的非参数检验（Friedman）法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著 Different lowercases in Fig. A and Fig. B indicate significant difference at $P<0.05$ level by non-parametric test (two-related-samples test). Different lowercases in Fig. C indicate significant difference at $P<0.05$ level by non-parametric test (three-related-samples test)

图 1 彩色稻对稻纵卷叶螟产卵选择性的影响

Fig. 1 Effect of colorful rice on oviposition selection of *C. medinalis*

2.3 彩色稻对天敌寄生选择性的影响

紫色稻和常规稻之间，螟黄赤眼蜂显著偏好寄生紫色稻上稻纵卷叶螟的卵，而黄色稻和常规稻之间，螟黄赤眼蜂显著偏好寄生常规稻上稻纵卷叶螟的卵，但常规稻和彩色稻上的卵寄生率并无显著差异。同样，在 3 种水稻同时存在的情况下，紫色稻上被寄生的卵数量要显著高于黄色稻上的卵，与常规稻之间则无显著差异，各处理间的寄生率也无显著差异（表 2）。

在彩色稻和常规稻之间，稻螟赤眼蜂均显著偏好寄生常规稻上稻纵卷叶螟的卵，常规稻上稻纵卷叶螟卵的寄生率也显著高于彩色稻。在 3 种水稻同时存在的情况下，结果与两两比较时相似，常规稻上被寄生的卵量要

显著高于紫色稻和黄色稻，同时紫色稻上被寄生的卵量显著低于黄色稻（表 3）。

2.4 彩色稻对稻纵卷叶螟田间发生程度的影响

在大田情况下，彩色稻稻田的稻纵卷叶螟发生量要显著高于常规稻稻田，其中紫色稻的稻纵卷叶螟卷叶率为 15.3%，显著高于黄色稻的 5.1%和常规稻的 1.4%（ $F=69.14$ ， $P<0.001$ ）。紫色稻和黄色稻的稻纵卷叶螟残虫率分别为 4.5%和 3.3%，也要显著高于常规稻的 1.1%（ $F=27.79$ ， $P=0.001$ ）（图 2）。

2.5 彩色稻田间创意对稻纵卷叶螟田间发生的影响

在使用紫色稻书写“美丽安吉”的稻田内，紫色稻上的稻纵卷叶螟卷叶率显著高于常规稻（图 3）。其中“美”字的卷叶率为 10.9%、“丽”字的卷叶率

表 2 彩色稻对螟黄赤眼蜂选择寄生稻纵卷叶螟卵的影响

Table 2 Effect of colorful rice on the selection of *T. chilonis* on *C. medinalis* eggs

水稻品种	稻纵卷叶螟总卵量	被寄生卵数量	寄生率
Rice variety	Total number of <i>C. medinalis</i> eggs	The number of parasitized eggs	Parasitic rate (%)
紫色稻 Purple rice	55.4±3.6a	29.4±1.9a	52.9±1.3a
常规稻 Common rice	49.4±2.6a	20.9±2.6b	42.8±5.8a
	$t=1.430$, $P=0.226$	$t=3.188$, $P=0.033$	$t=1.708$, $P=0.163$
黄色稻 Yellow rice	51.8±3.8a	14.5±1.3b	27.9±0.5a
常规稻 Common rice	51.0±2.7a	21.9±2.4a	43.3±6.5a
	$t=0.117$, $P=0.913$	$t=2.961$, $P=0.042$	$t=2.369$, $P=0.077$
紫色稻 Purple rice	51.2±2.9a	19.8±1.9a	38.9±4.3a
黄色稻 Yellow rice	46.7±4.9a	11.3±1.2b	25.3±5.5a
常规稻 Common rice	47.0±1.9a	16.8±1.4a	36.2±3.1a
	$F=0.518$, $P=0.620$	$F=8.168$, $P=0.019$	$F=2.280$, $P=0.183$

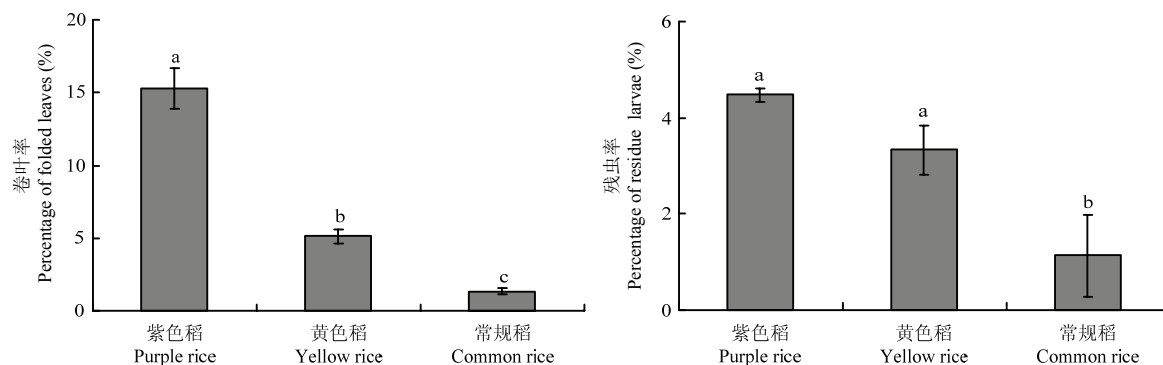
同列不同小写字母表示经 t 测验法或 Tukey 单因素方差分析检验法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。表 3 同

Different lowercases in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by t test or Tukey test. The same as Table 3

表 3 彩色稻对稻螟赤眼蜂选择寄生稻纵卷叶螟卵的影响

Table 3 Effect of colorful rice on the selection of *T. japonicum* on *C. medinalis* eggs

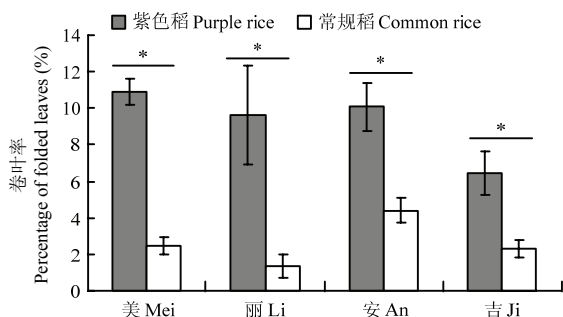
水稻品种	稻纵卷叶螟总卵量	被寄生卵数量	寄生率
Rice variety	Total number of <i>C. medinalis</i> eggs	The number of parasitized eggs	Parasitic rate (%)
紫色稻 Purple rice	54.9±3.1a	4.4±1.3b	7.9±1.1b
常规稻 Common rice	48.0±3.3a	13.2±1.3a	27.3±1.5a
	$t=1.491$, $P=0.210$	$t=4.970$, $P=0.008$	$t=10.604$, $P<0.001$
黄色稻 Yellow rice	49.6±3.3a	8.1±2.2b	16.8±3.5b
常规稻 Common rice	43.9±2.8a	14.6±2.8a	33.8±5.4a
	$t=0.132$, $P=0.257$	$t=3.078$, $P=0.037$	$t=2.674$, $P=0.046$
紫色稻 Purple rice	47.6±5.1a	3.4±1.2c	7.1±1.0c
黄色稻 Yellow rice	52.4±5.3a	7.8±2.0b	14.9±1.9b
常规稻 Common rice	50.5±3.6a	15.5±1.6a	30.6±0.5a
	$F=0.757$, $P=0.509$	$F=41.010$, $P<0.001$	$F=86.518$, $P<0.001$



图中不同小写字母表示经 Tukey 单因素方差分析检验法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著
Different lowercases in the figure indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Tukey test

图 2 彩色稻对稻纵卷叶螟田间发生的影响

Fig. 2 Effect of colorful rice on occurrence of *C. medinalis* in the field



图中不同小写字母表示经 t 测验法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著
Different lowercases in the figure indicate significant difference at $P < 0.05$ level by t test

图 3 彩色稻田间创意对稻纵卷叶螟田间发生的影响

Fig. 3 Effect of colorful rice used in creative agriculture on occurrence of *C. medinalis* in the field

为 9.6%、“安”字的卷叶率为 10.1%、“吉”字的卷叶率为 6.4%，均显著高于常规稻对照（美： $t=9.61$ ， $P < 0.001$ ；丽： $t=6.69$ ， $P < 0.001$ ；安： $t=3.77$ ， $P=0.020$ ；吉： $t=3.30$ ， $P=0.030$ ）。

3 讨论

本研究表明，彩色稻对稻纵卷叶螟的生物学特性产生了显著的影响，取食紫色稻和黄色稻的稻纵卷叶螟幼虫和蛹的存活率均显著高于常规稻，且稻纵卷叶螟对紫色稻和黄色稻也有着显著的产卵偏好。一般植食性昆虫定位和利用寄主植物主要通过物理特性和化学特性两个方面，植食性昆虫通过视觉、嗅觉、触觉、味觉等感觉器官，最终搜寻到寄主植物，达到取食或

产卵的目的^[15-17]。而且植食性昆虫的产卵选择行为一般都有利于后代的存活和种群分布^[18]。视觉在多种昆虫的寄主寻找以及定位过程中发挥着重要作用，大部分昆虫都具有趋色性，且不同物种对颜色的趋性各不相同^[19-20]。如在棉田中，绿盲蝽（*Apolygus lucorum*）趋向黄色粘板而中黑盲蝽（*Adelphocoris suturalis*）趋向绿色粘板^[21]；香蕉花蓟马（*Thrips hamaiensis*）对黄色最敏感，其次为粉色、蓝色和青色^[22]；而紫色对直纹稻弄蝶（*Parnara guttata*）的诱集效果最好，蓝色次之^[23]。植食性昆虫在寄主植物上产卵选择行为主要通过寄主定位、产卵部位定位等过程来完成，部分昆虫通过触角及唇须复合体触探检验植物表面，从而接受寄主植物并产卵或拒绝植物而离开^[24]。本研究结果显示，在彩色稻和常规水稻之间，稻纵卷叶螟显著偏向在彩色稻上产卵。今后彩色稻也许可作为稻田系统中的诱集植物加以利用，充分发挥其在稻田系统中的生物防治作用。彩色稻对稻纵卷叶螟的具体引诱机制有待进一步研究。

稻纵卷叶螟在紫色稻和黄色稻上的生长发育均显著好于常规的对照水稻，幼虫期和蛹期的存活率都显著高于对照。造成该现象的原因可能与水稻品种的形态特征和营养成分有关。据报道水稻叶片的蜡质和表面硅含量与稻纵卷叶螟的生态适应性密切相关^[25]。而除物理抗性外，一些生理生化指标如氨基酸含量、保护酶活性也是影响其适应性的关键因素^[25-26]。此外，水稻叶片的氮素含量影响稻纵卷叶螟幼虫消化食物的转化率，含硅量则影响幼虫取食行为，进而对其生长、发育和繁殖产生影响^[27]。据笔者观察，紫色稻的叶片

厚而宽,黄色稻的叶片薄而软,利于稻纵卷叶螟卷叶,而对照稻叶片窄而硬,不利于稻纵卷叶螟卷叶。本研究只对稻纵卷叶螟做了一个世代的研究,也许连续多个世代在彩色稻上取食后,相对于常规水稻,稻纵卷叶螟的种群数量会显著增加,且发生动态也会相应改变,最终结果有待深入研究及田间验证。另外,彩色稻是通过何种生理生化指标影响稻纵卷叶螟的生长发育,也需进一步研究。

稻纵卷叶螟的卵寄生蜂稻螟赤眼蜂和螟黄赤眼蜂对彩色稻的趋性与稻纵卷叶螟并不一致。螟黄赤眼蜂对不同寄主植物的寄生偏好差异不明显;而稻螟赤眼蜂趋向常规的绿叶稻,排斥黄色稻和紫色稻。对螟黄赤眼蜂的研究结果与前人报道并不一致,汪庚伟等^[11]报道螟黄赤眼蜂雌蜂趋向选择高亮度、偏绿色和偏黄色的颜色。但对稻螟赤眼蜂的研究结果与 ROMEIS 等^[28]报道的田间赤眼蜂雌蜂对颜色的选择相符,相对于黄色,稻螟赤眼蜂趋向于绿色。这说明彩色稻对不同寄生蜂行为趋性的影响是有差异的。实际田间发生动态中,稻螟赤眼蜂是稻田中的优势种,相对于螟黄赤眼蜂更普遍,种群数量更大;放蜂试验效果也表明,稻螟赤眼蜂为控制水稻田螟虫的优势蜂种,效果优于螟黄赤眼蜂^[29]。也有室内试验表明,同时接入这两种赤眼蜂时,蜂种间存在一定的竞争作用,且对稻螟赤眼蜂的生长发育有抑制作用^[30],但在田间开放系统中,是否有相同的结果有待验证。在本研究中,稻螟赤眼蜂对彩色稻的排斥行为更值得关注,这也许是彩色稻稻田中稻纵卷叶螟发生比常规稻发生更严重的原因之一。在实际的应用中可以考虑混合释放多种不同的寄生蜂来防控彩色稻稻田中的螟虫。

大田的研究结果表明,彩色稻上的稻纵卷叶螟卷叶率显著高于常规稻,且残虫率也高于常规稻,这与室内结果相一致,即稻纵卷叶螟趋向彩色稻产卵且在彩色稻上的存活率高于常规稻。

4 结论

供试的紫色稻和黄色稻相对于常规水稻更易受稻纵卷叶螟危害,取食紫色稻和黄色稻的稻纵卷叶螟幼虫和蛹的存活率均显著高于常规稻,而稻螟赤眼蜂趋向寄生常规稻上的稻纵卷叶螟卵,排斥黄色稻和紫色稻。在利用彩色稻进行创意农业稻田彩绘时应注意彩色稻的害虫防治,及时对其进行定点防治。

References

- [1] ZHOU X S, SHEN S Q, WU D X, SUN J W, SHU Q Y. Introduction of a xantha mutation for testing and increasing varietal purity in hybrid rice. *Field Crops Research*, 2006, 96(1): 71-79.
- [2] 沈圣泉, 周祥胜, 吴殿星, 舒小丽, 叶红霞, 舒庆尧. 水稻黄叶标记不育系的诱变选育及其应用. *核农学报*, 2007, 21(2): 107-110.
SHEN S Q, ZHOU X S, WU D X, SHU X L, YE H X, SHU Q Y. The breeding of a rice xantha leaf marker CMS line by Gamma rays mutation. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2007, 21(2): 107-110. (in Chinese)
- [3] 牟同敏, 李春海, 杨国才, 卢兴桂. 紫色水稻苗期叶色的遗传研究. *中国水稻科学*, 1995, 9(1): 45-48.
MU T M, LI C H, YANG G C, LU X G. Genetical studies on seedling leaf color in purple rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 1995, 9(1): 45-48. (in Chinese)
- [4] 曹立勇, 钱前, 朱旭东, 曾大力, 闵绍楷, 熊振民. 紫叶标记籼型光-温敏核不育系中紫 S 的选育及其配组的杂种优势. *作物学报*, 1999, 25(1): 44-49.
CAO L Y, QIAN Q, ZHU X D, ZHEN D L, MIN S K, XIONG Z M. Breeding of a photo-thermo sensitive genic male sterile indica rice Zhongzi S with a purple-leaf marker and the heterosis of its hybrid rice produced with it. *Acta Agronomica Sinica*, 1999, 25(1): 44-49. (in Chinese)
- [5] 吴理财, 吴孔凡. 美丽乡村建设四种模式及比较——基于安吉、永嘉、高淳、江宁四地的调查. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2014, 33(1): 15-22.
WU L C, WU K F. Four patterns of beautiful rural construction and their comparison——A case study in Anji, Yongjia, Gaochun and Jiangning. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2014, 33(1): 15-22. (in Chinese)
- [6] 胡豹, 杨良山, 王丽娟, 章伟江. 浙江创意农业的实践模式、发展思路与战略对策. *浙江农业学报*, 2013, 25(6): 1410-1416.
HU B, YANG L S, WANG L J, ZHANG W J. Practice modes, development strategy and countermeasures of creative agriculture in Zhejiang province. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2013, 25(6): 1410-1416. (in Chinese)
- [7] 富昊伟, 李友发, 陆强, 吴殿星, 舒庆尧. 水稻叶色突变对虫害发生影响的研究初报. *核农学报*, 2009, 23(6): 911-916.
FU H W, LI Y F, LU Q, WU D X, SHU Q Y. A preliminary study on the effect of leaf color mutants on insect pest occurrence in rice. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2009, 23(6): 911-916. (in Chinese)
- [8] 李霞, 徐秀秀, 韩兰芝, 王沫, 侯茂林. 不同水稻品种对稻纵卷叶

- 螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响. 生态学报, 2013, 33(14): 4370-4376.
- LI X, XU X X, HAN L Z, WANG M, HOU M L. Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée). *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(14): 4370-4376. (in Chinese)
- [9] 郑许松, 徐红星, 俞晓平, 吕仲贤, 陈建明, 陶林勇. 缨小蜂对颜色的选择性和粘卡技术的应用研究. 华东昆虫学报, 2001, 10(2): 96-100.
- ZHENG X S, XU H X, YU X P, LÜ Z X, CHEN J M, TAO L Y. Color preference of *Anagrus* spp. and application of sticky traps. *Entomological Journal of East China*, 2001, 10(2): 96-100. (in Chinese)
- [10] 李佳, 高宇, 崔娟, 齐灵子, 史树森. 大豆田昆虫对不同颜色趋向选择的差异性分析. 大豆科学, 2015, 34(2): 289-292.
- LI J, GAO Y, CUI J, QI L Z, SHI S S. Tendency to different colors by insects in soybean fields. *Soybean Science*, 2015, 34(2): 289-292. (in Chinese)
- [11] 汪庚伟, 田俊策, 朱平阳, 郑许松, 徐红星, 杨亚军, 臧连生, 吕仲贤. 螟黄赤眼蜂雌成虫对不同颜色瓜叶菊花的选择性. 中国生物防治学报, 2015, 31(4): 473-480.
- WANG G W, TIAN J C, ZHU P Y, ZHENG X S, XU H X, YANG Y J, ZANG L S, LÜ Z X. Preference of *Trichogramma chilonis* females for different colored flowers of *Senecio cruentus*. *Chinese Journal of Biological Control*, 2015, 31(4): 473-480. (in Chinese)
- [12] 郭荣, 韩梅, 束放. 减少稻田用药的病虫害绿色防控策略与措施. 中国植保导刊, 2013, 33(10): 38-41.
- GUO R, HAN M, SHU F. Pest green control strategies and measures of reducing chemical application in paddy field. *China Plant Protection*, 2013, 33(10): 38-41. (in Chinese)
- [13] TIAN J C, WANG Z C, WANG G R, ZHONG L Q, ZHENG X S, XU H X, ZANG L S, LU Z X. The effects of temperature and host age on the fecundity of four *Trichogramma* species, egg parasitoids of the *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 2017, 110(3): 949-953.
- [14] TANG Q Y, ZHANG C X. Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research. *Insect Science*, 2013, 20(2): 254-260.
- [15] 吕建华, 刘树生. 诱虫作物在害虫治理中的应用. 植物保护, 2008, 34(2): 1-6.
- LÜ J H, LIU S S. Advances in application of trap cropping to IPM. *Plant Protection*, 2008, 34(2): 1-6. (in Chinese)
- [16] ALLISION J D, BORDEN J H, SEYBOLD S J. A review of the chemical ecology of the Cerambycidae (Coleoptera). *Chemoecology*, 2004, 14(3/4): 123-150.
- [17] 董子舒, 张玉静, 段云博, 郑霞林, 陆温. 植食性昆虫产卵寄主选择影响因素及机制的研究进展. 南方农业学报, 2017, 48(5): 837-843.
- DONG Z S, ZHANG Y J, DUAN Y B, ZHENG X L, LU W. Influencing factors and selection mechanisms of phytophagous insects for oviposition host plants. *Journal of Southern Agriculture*, 2017, 48(5): 837-843. (in Chinese)
- [18] ASMAN K, EKBOM B, RAMERT B. Effect of intercropping on oviposition and emigration behavior of the leek moth (Lepidoptera: Acrolepiidae) and the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Environmental Entomology*, 2001, 30(2): 288-294.
- [19] BRISCOE A D, CHITTKA L. The evolution of color vision in insects. *Annual Review of Entomology*, 2001, 46: 471-510.
- [20] 刘军和, 赵紫华. 昆虫视觉在寄主寻找及定位过程中的作用. 植物保护学报, 2017, 44(3): 353-362.
- LIU J H, ZHAO Z H. Roles of insect vision in host plant finding and locating. *Journal of Plant Protection*, 2017, 44(3): 353-362. (in Chinese)
- [21] 宋海燕, 李丽莉, 王凤月, 门兴元. 不同颜色粘虫板对棉田绿盲蝽、中黑盲蝽和赤须盲蝽的诱集效果. 植物保护学报, 2016, 43(5): 713-721.
- SONG H Y, LI L L, WANG F Y, MEN X Y. Trapping effects of different colored sticky cards to mirids *Apolygus lucorum*, *Adelphocoris suturalis* and *Trigonotylus ruficonis* in cotton fields. *Journal of Plant Protection*, 2016, 43(5): 713-721. (in Chinese)
- [22] 黄鹏, 陈汉鑫, 姚锦爱, 余德亿. 香蕉花蓟马对不同颜色的敏感性及其色板田间悬挂组合选择. 中国农学通报, 2016, 32(1): 141-145.
- HUANG P, CHEN H X, YAO J A, YU D Y. Sensibility of *Thrips hamaiensis* to different colors and hanging groups screening of sticky cards in the field. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(1): 141-145. (in Chinese)
- [23] 蒋月丽, 武予清, 段云, 魏永平. 不同颜色诱捕器对直纹稻弄蝶的诱集效果. 河南农业科学, 2009, 38(12): 86-87.
- JIANG Y L, WU Y Q, DUAN Y, WEI Y P. The effect of coloration on trapping *Parnara guttata* in field. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2009, 38(12): 86-87. (in Chinese)
- [24] SCHOONHOVEN L M, JERMY T, VAN LOON J J A. *Insect-Plant Biology: From Physiology to Evolution*. London: Chapman and Hall, 1998: 241-242.
- [25] 王亓翔, 许路, 吴进才. 水稻品种对稻纵卷叶螟抗性的物理及生化

- 机制. 昆虫学报, 2008, 51(12): 1265-1270.
- WANG Q X, XU L, WU J C. Physical and biochemical mechanisms of resistance of different rice varieties to the rice leafroller, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51(12): 1265-1270. (in Chinese)
- [26] 许璐, 王芳, 吴进才, 王丕翔. 稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis* (Güenée))在水稻品种上的半自然种群生命表参数及对植株含糖量的影响. 生态学报, 2007, 27(11): 4547-4554.
- XU L, WANG F, WU J C, WANG Q X. Life-table parameters of a semi-natural population of *Cnaphalocrocis medinalis* (Güenée) on different rice varieties and changes in sugar content in rice plants after insect infestation. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4547-4554. (in Chinese)
- [27] 但建国, 陈常铭. 食料条件对稻纵卷叶螟生长发育和繁殖的影响. 植物保护学报, 1990, 17(3): 193-199.
- DAN J G, CHEN C M. The effects of feeding condition on the growth, development, and reproduction of rice leaf roller. *Journal of Plant Protection*, 1990, 17(3): 193-199. (in Chinese)
- [28] ROMEIS J, SHANOWER T G, ZEBITZ C P W. Response of *Trichogramma* egg parasitoids to colored sticky traps. *BioControl*, 1998, 43(1): 17-27.
- [29] 李姝, 郑和斌, 陈立玲, 陈俸, 郭荣, 王彬, 张帆. 三种赤眼蜂对水稻二化螟田间控害效果比较. 中国生物防治学报, 2018, 34(3): 336-341.
- LI S, ZHENG H B, CHEN L L, CHEN F, GUO R, WANG B, ZHANG F. Comparisons of three *Trichogramma* species for controlling *Chilo suppressalis* in paddy field. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34(3): 336-341. (in Chinese)
- [30] 杜文梅, 林英, 臧连生, 张晨, 刘显娇, 阮长春. 稻螟赤眼蜂与二种赤眼蜂对水稻二化螟卵寄生竞争作用. 环境昆虫学报, 2016, 38(3): 488-493.
- DU W M, LIN Y, ZANG L S, ZHANG C, LIU X J, RUAN C C. Interspecific interference of *Trichogramma japonicum* with other two *Trichogramma* species on eggs of the rice stripped stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker). *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38(3): 488-493. (in Chinese)

(责任编辑 岳梅)