

云南东部稻区白背飞虱种群增殖影响因子分析

李向永¹, 尹艳琼¹, 赵雪晴¹, 翟保平², 谌爱东^{1*}

(1. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205; 2. 南京农业大学昆虫学系, 南京 210095)

摘要 为探讨云南省东部稻区白背飞虱种群增殖的主要影响因子, 采用正交试验分析了盆栽笼罩条件下白背飞虱种群在出口密度、接虫时期和水稻品种不同组合条件下增殖倍数。结果表明: (1) 接虫时期、接虫密度、品种对白背飞虱种群增殖倍数有极显著的影响, 影响作用大小为: 接虫时期 ($F=23.1, P<0.001$) > 接虫密度 ($F=12.8, P<0.001$) > 品种 ($F=5.6, P=0.003$); 移栽期、拔节期、孕穗期和抽穗期接虫的种群增殖倍数分别为 30.1、16.4、8.1 和 1.3 倍, 移栽期接虫的种群增殖倍数最高, 与拔节期、抽穗期、孕穗期接虫差异极显著 ($P<0.01$); 5、10、20 和 40 对/丛等 4 个接虫密度的种群增殖倍数分别为 22.1、21.7、7.2、4.9 倍, 以 5 对/丛接虫密度的种群增殖倍数最高, 与 10 对/丛处理间差异不显著 ($P>0.05$), 与 20、40 对/丛处理间差异极显著 ($P<0.01$); 品种‘丰优香占’、‘红优 7 号’、‘云恢 290’和‘明两优 527’上的种群增殖倍数分别为 21.6、15.9、10.8 和 7.7 倍, 以‘丰优香占’的种群密度最高, 与‘红优 7 号’间差异不显著 ($P>0.05$), 与‘云恢 290’、‘明两优 527’处理间差异极显著 ($P<0.01$)。 (2) 对接虫量、苗龄、田间均温和田间均湿等因素进行多元回归分析, 在品种‘红优 7 号’上, 种群增殖模型回归方程为 $Y = -67.05 + 1.76 X_1 - 1.36 X_2 + 3.70 X_3 + 0.03 X_4$ (Y 为增殖倍数, X_1 为接虫量, X_2 为苗龄, X_3 为平均气温, X_4 为平均湿度, 下同)。 $Y = -91.65 - 0.16 X_1 - 0.38 X_2 + 3.39 X_3 + 0.41 X_4$ 。‘云恢 290’品种的回归方程为 $Y = -59.79 + 0.23 X_1 - 0.12 X_2 + 2.28 X_3 + 0.10 X_4$ 。‘明两优 527’品种的回归方程为 $Y = -8.81 + 0.27 X_1 - 0.15 X_2 + 0.92 X_3 + 0.01 X_4$ 。在水稻移栽期接虫, 接虫密度为 5 对/丛, 品种为‘红优 7 号’时, 白背飞虱的种群增殖倍数为 43.3。本研究表明在移栽期至拔节期, 较低的成虫密度往往能导致较大的种群增殖。

关键词 白背飞虱; 正交试验; 种群增殖; 影响因子; 云南

中图分类号: S 435.112.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.05.008

Analysis of the factors impacting on population proliferation of white-backed planthopper (*Sogatella furcifera*) in rice areas of eastern Yunnan

Li Xiangyong¹, Yin Yanqiong¹, Zhao Xueqing¹, Zhai Baoping², Chen Aidong¹

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China;
2. Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract To find out the main factors affecting population proliferation of the white-backed planthopper (WB-PH), *Sogatella furcifera* in eastern Yunnan, an orthogonal experiment was designed in the potting covered with net to analyze the impact of population densities, insect inoculation period and rice varieties on the reproduction of *S. furcifera*. The results showed that: i) the insect inoculation period, population densities and rice varieties had significant impact on the population reproduction. The impact sequence from strong to weak was developmental period ($F=23.1, P=0.000$), initial density ($F=12.8, P=0.000$), variety ($F=5.6, P=0.003$). Population multiplication during transplanting period, jointing stage, booting stage and heading stage were 30.1, 16.4, 8.1 and 1.3 times, respectively. The variance analysis showed significant differences between transplanting period and others stages ($P<0.01$). Multiplication at 4 initial densities (5 adult pairs/clump, 10 adult pairs/clump, 20 adult pairs/clump, 40 adult pairs/clump) were 22.1, 21.7, 7.2 and 4.9 times, respectively, and there was significant difference between the initial densities of 5 adult pairs/clump and 20 adult pairs/clump, 40 adult pairs/

收稿日期: 2016-11-16 修订日期: 2017-02-03

基金项目: NSFC-云南联合基金资助项目(U1202266); 云南省科技计划项目(20141 A 009); 云南省现代农业水稻产业技术体系
致谢: 诚挚感谢南京农业大学昆虫学系硕士研究生王鹏、范淑琴、郑傲冰和王明鑫; 云南省师宗县植保植检站的黎彬和吴阳文高级农艺师; 师宗县五龙乡农业技术推广中心的何洪平和岳云辉高级农艺师为本试验提供的帮助与支持。

* 通信作者 E-mail: shenad68@163.com

clump ($P < 0.01$). Proliferation rates of the varieties ‘Fengyouxiangzhan’, ‘Hongyou 7’, ‘Yunhui 290’ and ‘Mingliangyou 527’ were 21.6, 15.9, 10.8 and 7.7 times, respectively. There was significant difference between ‘Fengyouxiangzhan’ and ‘Yunhui 290’, ‘Mingliangyou 527’ ($P < 0.01$); ii) analysis of the relationship between proliferation rate and independent variables (pest density, seedling age, mean temperature and humidity) by the multiple regression analysis generated a regressional model of population proliferation for ‘Hongyou 7’: $Y = -67.05 + 1.76 X_1 - 1.36 X_2 + 3.70 X_3 + 0.03 X_4$ (Y , proliferation multiples; X_1 , pest density; X_2 , seedling age; X_3 , temperature; X_4 , humidity; the same below), a regression model for ‘Fengyouxiangzhan’: $Y = -91.65 - 0.16 X_1 - 0.38 X_2 + 3.39 X_3 + 0.41 X_4$, a population proliferation model for ‘Yunhui 290’: $Y = -59.79 + 0.23 X_1 - 0.12 X_2 + 2.28 X_3 + 0.10 X_4$, and a population proliferation model for ‘Mingliangyou 527’: $Y = -8.81 + 0.27 X_1 - 0.15 X_2 + 0.92 X_3 + 0.01 X_4$. Population multiplication of *S. furcifera* was 43.3 times during rice transplanting period, at 5 /clump pest density for ‘Hongyou7’. The results indicated that, from the transplanting stage to jointing stage, a lower immigration density of white-backed planthopper could result in a larger population proliferation.

Key words *Sogatella furcifera*; orthogonal experiment; population proliferation; influence factor; Yunnan

白背飞虱 *Sogatella furcifera* Horváth 是我国水稻产区的重要迁飞性害虫,也是云南省稻区的常年优势种,其发生与为害存在明显的区域性、严重性和复杂性^[1]。近年来,白背飞虱的发生频次增加,对移栽期至拔节期的水稻秧苗危害严重,迁入种群在云南稻区往往能造成落地成灾。师宗中稻区位于云南省东部,常年于3月底育秧,5月中旬移栽;5-7月是师宗县白背飞虱田间种群为害高峰期^[2],由于白背飞虱在师宗稻区无法越冬^[3],主害代虫源以迁入虫源为主^[4],郑大兵等^[5]对1990-2012年45个迁入高峰日白背飞虱虫源地的轨迹分析结果表明,缅甸东北、越南北部和金三角地区都是师宗4月份白背飞虱的主要虫源地,越南西北部、老挝北部、缅甸东北部和滇西南则是师宗5月份白背飞虱的主要虫源地。

水稻生育期和虫口密度会影响白背飞虱的种群增殖,在‘武育梗3号’水稻的拔节至孕穗初期,白背飞虱低密度区的增殖速度明显,低密度区的增殖速度要大于高密度区^[6]。目前已有研究以单个水稻品种为寄主植物材料,研究了笼罩条件下在水稻孕穗期接种不同虫量后的种群增殖能力^[7]。正交试验设计是一种研究多因素多水平试验的有效方法,它是

根据正交性从全面试验中挑选出部分有代表性的点进行试验,这些有代表性的点具备了“均匀分散,齐整可比”的特点,已经应用于很多研究领域。正交试验设计在昆虫学中的应用较多是关于昆虫饲养中饲料配方的研究^[8-10]。

本研究的目的在于探讨影响白背飞虱种群增殖能力的外部条件因子,诸如水稻品种、水稻生育期和虫口密度等。明确白背飞虱在不同品种、不同虫口密度及不同生育期的种群增殖能力,可为田间种群发生动态的监测预警和及时开展防治工作提供技术支持。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

选择水稻品种、接虫时期及虫口密度3个因素,每个因素设置4个水平(详见正交设计表1),根据各因素组合进行调查。稻苗移栽与当地的大田移栽时间一致,将4个品种的适龄秧苗3株/丛移栽至盛有稻田土的塑料桶内($d=25\text{ cm}, h=60\text{ cm}$),保证秧苗不带虫,塑料桶外罩80目50 cm×100 cm尼龙纱网罩,避免外部白背飞虱成虫飞入,放置在稻田边。因素组合共16组,每个因素组合重复4次共计64盆秧苗。

表 1 因素及因素水平设计

Table 1 Factors and factor levels

因素水平 Level of factors	接虫密度/对·丛 ⁻¹ Density of WBPH	接虫时期 Insect inoculation period	品种 Variety of rice
1	5	移栽期 Transplanting period	红优7号 Hongyou 7
2	10	拔节期 Shooting period	丰优香占 Fengyouxiangzhan
3	20	孕穗期 Booting stage	云恢290 Yunhui 290
4	40	抽穗期 Heading period	明两优527 Mingliangyou 527

稻苗移栽成活后,将白背飞虱长翅成虫按试验方案接入纱笼内的水稻植株上,试验在师宗县五龙乡进行。

1.2 调查方法

接虫 5 d 后开始调查若虫、长翅成虫及短翅成虫数量,每 7 d 调查 1 次,至水稻蜡熟期结束,采用盘拍法调查每丛稻苗上的白背飞虱成虫、若虫数量。调查时,进入纱笼内之后及时密封笼子,避免水稻植株上的白背飞虱成虫逸出,盘拍调查记录虫量后,将盘内成虫及若虫拍击倒在水稻植株上。

试验同期用自动温湿度记录仪(HE 173,深圳华图测控系统有限公司)记录田间温湿度。

1.3 数据分析方法

以水稻整个生育期内种群最大值和初始接虫密

度的比值作为种群增殖率。用 SPSS 13.0 (SPSS Inc.) 软件中的 Analyze 菜单下的“General Linear Model”分析不同因素对种群增殖率的影响作用大小和同一因素不同水平处理间的差异性比较^[11]。同时对不同水稻品种上的接虫密度、秧苗移栽后天数、田间均温和田间均湿等因素进行逐步多元回归分析,初步建立不同水稻品种的种群增殖模型。

2 结果分析

2.1 各因素影响作用方差分析

总体而言,在水稻移栽期接虫,白背飞虱的种群增殖倍数最高,随着接虫时间的逐步后移,白背飞虱的种群增殖倍数递减,根据表 1 中的种群增殖倍数结果进行方差分析,结果如表 2 所示。

表 2 白背飞虱种群增殖正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal experiment of *Sogatella furcifera* population proliferation

品种 Variety	接虫时期 Insect inoculation period	接虫密度/对·丛 ⁻¹ Density of WBPH	最大密度/对·丛 ⁻¹ Maximum density	增殖倍数 Proliferation times
丰优香占 Fengyouxiangzhan	移栽期 Transplanting period	10	548.3	54.8
丰优香占 Fengyouxiangzhan	拔节期 Shooting period	5	139.0	27.8
丰优香占 Fengyouxiangzhan	孕穗期 Booting stage	40	111.3	2.8
丰优香占 Fengyouxiangzhan	抽穗期 Heading period	20	17.0	0.9
红优 7 号 Hongyou 7	移栽期 Transplanting period	5	216.7	43.3
红优 7 号 Hongyou 7	拔节期 Shooting period	10	176.3	17.6
红优 7 号 Hongyou 7	孕穗期 Booting stage	20	30.7	1.5
红优 7 号 Hongyou 7	抽穗期 Heading period	40	38.3	1.0
明两优 527 Mingliangyou 527	移栽期 Transplanting period	40	256.3	6.4
明两优 527 Mingliangyou 527	拔节期 Shooting period	20	209.3	10.5
明两优 527 Mingliangyou 527	孕穗期 Booting stage	10	123.7	12.4
明两优 527 Mingliangyou 527	抽穗期 Heading period	5	7.7	1.5
云恢 290 Yunhui 290	移栽期 Transplanting period	20	317.7	15.9
云恢 290 Yunhui 290	拔节期 Shooting period	40	380.7	9.5
云恢 290 Yunhui 290	孕穗期 Booting stage	5	79.0	15.8
云恢 290 Yunhui 290	抽穗期 Heading period	10	19.7	2.0

从表 3 方差分析可以看出,接虫时期、接虫密度、品种这 3 个因素对白背飞虱的种群增殖倍数都有极显著影响。根据各因素的 F 值大小,可确定

3 个因素对种群增殖倍数的影响作用大小为接虫时期($F=23.1, P<0.001$)>接虫密度($F=12.8, P<0.001$)>品种($F=5.6, P=0.003$)。

表 3 种群增殖倍数方差分析结果

Table 3 Variance analyses of population proliferation

方差来源 Source of variance	离均差平方和 Sum squares	自由度 df	均方差 Mean square deviation	F	P
接虫时期 Insect inoculation period	5 524.7	3	1 841.6	23.1	<0.001
接虫密度 Density of WBPH	3 049.7	3	1 016.6	12.8	<0.001
品种 Rice variety	1 329.5	3	443.2	5.6	0.003
误差 Error	3 024.7	38	79.6		

2.2 接虫时期影响作用分析

在移栽期、拔节期、孕穗期和抽穗期等4个时期接虫,移栽期接虫的种群增殖倍数最高,为30.1倍,其次是拔节期16.4倍、孕穗期8.1倍、抽穗期1.3倍。对各接虫时期的配对比较结果表明,移栽期接虫的种群增殖倍数与拔节期、抽穗期、孕穗期接虫的增殖倍数存在极显著差异($P < 0.01$),拔节期与孕穗期接虫的种群增殖倍数存在显著差异($P < 0.05$)、与抽穗期存在极显著差($P < 0.01$),孕穗期与抽穗期接虫的种群增殖倍数差异不显著($P > 0.05$)(表4)。

表4 不同接虫时期的影响作用方差分析¹⁾

Table 4 Variance analysis of the effects of different growth periods

接虫时期 Insect inoculation period	平均增殖倍数 Mean multiplication multiple	95% 置信限 95% Confidence limit
移栽期 Transplanting period	(30.1 ± 11.4)aA	24.9~35.3
拔节期 Shooting period	(16.4 ± 4.2)bB	11.1~21.6
孕穗期 Booting stage	(8.1 ± 3.5)cBC	2.9~13.3
抽穗期 Heading period	(1.3 ± 0.3)cC	-3.9~6.5

1) 表中不同大小写字母表示在0.01和0.05水平上的差异性。下同。
Different capital and lowercase letters in the column indicate significant difference at $P = 0.01$ and 0.05 levels, respectively. The same below.

2.3 接虫密度影响作用分析

5、10、20和40对/丛等4个接虫密度中,5对/丛接虫密度的种群增殖倍数最高,为22.1倍,其次是10对/丛21.7倍、20对/丛7.2倍、40对/丛4.9倍。对各接虫密度的配对比较结果表明,5对/丛接虫密度种群增殖倍数与10对/丛接虫密度间差异不显著($P > 0.05$)、5对/丛接虫密度种群增殖倍数与20、40对/丛接虫密度处理间存在极显著差异($P < 0.01$);10对/丛接虫密度种群增殖倍数与20、40对/丛接虫密度处理间存在极显著差异($P < 0.01$);20对/丛接虫密度、40对/丛接虫密度处理间差异不显著($P > 0.05$)(表5)。

表5 不同接虫密度的影响作用方差分析

Table 5 Variance analysis of the effects of different densities of WBPH

接虫密度/对·丛 ⁻¹ Density of WBPH	平均增殖倍数 Mean multiplication multiple	95% 置信限 95% Confidence limit
5	(22.1 ± 8.9)aA	16.9~27.3
10	(21.7 ± 11.5)aA	16.5~26.9
20	(7.2 ± 3.6)bB	2.0~12.4
40	(4.9 ± 1.9)bB	-0.3~10.1

2.4 品种影响作用分析

4个品种中,‘丰优香占’上白背飞虱的种群增殖倍数最高,为21.6倍,其次是‘红优7号’,为15.9倍,‘云恢290’为10.8倍,‘明两优527’为7.7倍。对各品种的配对比较结果表明,‘丰优香占’品种上种群增殖倍数与‘红优7号’品种间差异不显著($P > 0.05$)、‘丰优香占’上种群增殖倍数与‘云恢290’、‘明两优527’品种间存在极显著差异($P < 0.01$);‘红优7号’与‘明两优527’品种间存在显著差异($P < 0.05$),与‘云恢290’品种间差异不显著($P > 0.05$);‘云恢290’与‘明两优527’品种间差异不显著($P > 0.05$)(表6)。

表6 不同品种的影响作用方差分析

Table 6 Variance analysis of the effects of different varieties

品种 Variety	平均增殖倍数 Mean multiplication multiple	95%置信限 95% Confidence limit
丰优香占 Fengyouxiangzhan	(21.6 ± 12.7)aA	16.4~26.8
红优7号 Hongyou 7	(15.9 ± 9.9)abAB	10.7~21.1
云恢290 Yunhui 290	(10.8 ± 3.3)bcB	5.6~16.0
明两优527 Mingliangyou 527	(7.7 ± 2.4)cB	2.5~12.9

2.5 白背飞虱在不同水稻品种上种群增殖模型

对接虫量、秧苗移栽后天数、田间均温和田间均湿等因素进行多元回归分析(全进入法),初步建立白背飞虱在4个水稻品种上的种群增殖模型,4个品种上白背飞虱的回归模型各参数如表7所示。在品种‘红优7号’上,种群增殖模型回归方程的回归系数为0.865,回归方程的F值检验表明增殖倍数与各变量间相关性极显著($F = 0.865, P < 0.01$),对各自变量的回归系数显著性分析结果表明:水稻苗龄、虫量和田间平均温度对增殖倍数有极显著的线性相关性($P < 0.01$),回归方程为 $Y = -67.05 + 1.76 X_1 - 1.36 X_2 + 3.70 X_3 + 0.03 X_4$ (Y 为增殖倍数、 X_1 为接虫量、 X_2 为苗龄、 X_3 为平均气温、 X_4 为平均湿度,下同)。

在品种‘丰优香占’上,种群增殖模型回归方程的回归系数为0.706,回归方程的F值检验表明:增殖倍数与各变量间相关性极显著($F = 9.46, P < 0.01$),对各自变量的回归系数显著性分析结果表明:水稻苗龄、田间平均温度对增殖倍数有极显著的线性相关性($P < 0.01$),平均湿度与增殖倍数有显著的线性相关性($P < 0.05$);回归方程为 $Y = -91.65 - 0.16X_1 - 0.38 X_2 + 3.39 X_3 + 0.41X_4$ 。

表 7 不同品种白背飞虱种群增殖模型参数¹⁾Table 7 The parameters of *Sogatella furcifera* proliferation model for different varieties

品种 Variety	回归系数 Regression coefficient	F 值 F value	回归方程系数 Coefficient of regression equation				
			常量 Constant	苗龄 Seedling age	虫量 Pest density	平均温度 Mean temperature	平均湿度 Mean humidity
红优 7 号 Hongyou 7	0.865	27.56**	-67.05	-1.36**	1.76**	3.70**	0.03
丰优香占 Fengyouxiangzhan	0.706	9.46**	-91.65	-0.38**	-0.16	3.39**	0.41*
云恢 290 Yunhui 290	0.805	17.43**	-59.79	-0.12**	0.23**	2.28**	0.10
明两优 527 Mingliangyou 527	0.515	3.43*	-8.81	-0.15	-0.27*	0.92*	0.01

1) 表中各数据上标**表示 0.01 水平显著性,*表示 0.05 水平显著性。

** indicates the significance at $P=0.01$ level; * indicates the significance at $P=0.05$ level.

在品种‘云恢 290’上,种群增殖模型回归方程的回归系数为 0.805,回归方程的 F 值检验表明:增殖倍数与各变量间相关性极显著($F=17.43, P<0.01$),对各自变量的回归系数显著性分析结果表明:水稻苗龄、虫量和田间平均温度与增殖倍数有极显著的线性相关性($P<0.01$),回归方程为 $Y=-59.79+0.23X_1-0.12X_2+2.28X_3+0.10X_4$ 。

在品种‘明两优 527’上,种群增殖模型回归方程的回归系数为 0.515,回归方程的 F 值检验表明增殖倍数与各变量间相关性极显著($F=3.43, P<0.05$),对各自变量的回归系数显著性分析结果表明:虫量和田间平均温度与增殖倍数有显著的线性相关性($P<0.05$);回归方程为 $Y=-8.81+0.27X_1-0.15X_2+0.92X_3+0.01X_4$ 。

3 结论与讨论

本研究通过对接虫时期、接虫密度、品种等因素对白背飞虱种群增殖倍数的影响作用分析,明确了当水稻处于移栽期、较低的虫口密度(接虫密度 5~10 对/丛)时,白背飞虱的种群增殖倍数较大,在所选用的 4 个品种中,除‘明两优 527’外,其余 3 个品种的种群增殖倍数均在 10 倍以上。在移栽期,接虫密度为 5 对/丛,品种为‘红优 7 号’时,白背飞虱的种群增殖倍数最大。白背飞虱是云南省稻区的重要害虫,在水稻的各生长阶段均有迁入虫峰。在移栽期至拔节期,较低的迁入密度往往能导致较大的种群增殖。在实际的预测预报工作中,应当注意白背飞虱在移栽—拔节期时,较低的种群密度条件下种群增殖倍数较大的现象。水稻植株韧皮部汁液中的蔗糖、氨基酸、无机盐和有机酸等是褐飞虱生长发育和生殖所需的主要营养物质^[12],游离氨基酸的含量影响着稻飞虱的种群增殖能力,如感虫品种‘TN1’叶鞘内的主要游离氨基酸含量和氨基酸总量均高于

抗虫品种,游离氨基酸含量与褐飞虱的产卵量呈显著正相关^[13]。本研究结果表明白背飞虱在移栽期和拔节期的种群增殖能力较强,而在孕穗和抽穗期的种群增殖能力较弱,水稻植株不同生育期的氨基酸含量变化特征及其与种群增殖倍数之间的相关性还有待于研究。

白背飞虱种群密度制约效应明显^[14],本研究中,20 对/丛和 40 对/丛的接虫密度下的种群增殖倍数均低于 10 倍,而 5 对/丛和 10 对/丛的种群增殖倍数均高于 20 倍,可见种群密度对白背飞虱的增殖有明显的密度抑制作用。在白背飞虱早期迁入的过程中,每丛稻株上的白背飞虱密度往往较低,但在实际的预测预报和防治过程中更应该注意白背飞虱在低密度条件下的高增殖率问题。本研究选用的 4 个水稻品种是师宗稻区当地的主栽品种,除‘明两优 527’外,其余 3 个品种上的种群增殖倍数较大,因此可适当增加‘明两优 527’品种的推广力度。

参考文献

- [1] 四川、贵州、云南三省稻飞虱科研协作组. 我国西南稻区白背飞虱、褐稻虱的迁飞和发生特点[J]. 植物保护学报, 1982, 9(3): 179-186.
- [2] 赵雪晴, 沈慧梅, 尹艳琼, 等. 云南白背飞虱的发生与种群消长特点[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(2): 516-524.
- [3] 刘玉彬, 杨家鸾, 林莉, 等. 云南白背飞虱和褐稻虱发生特点的研究[J]. 昆虫知识, 1991, 28(5): 257-261.
- [4] 沈慧梅, 吕建平, 周金玉, 等. 2009 年云南省白背飞虱早期迁入种群的虫源地范围与降落机制[J]. 生态学报, 2011, 31(15): 4350-4364.
- [5] 郑大兵, 崔茂虎, 何洪平, 等. 云南师宗白背飞虱前期迁入种群的虫源地分布与降落机制[J]. 生态学报, 2014, 34(15): 4262-4271.
- [6] 张夕林, 张谷丰, 孙雪梅, 等. 中、晚粳稻区白背飞虱为害损失及其防治指标研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1999, 25(5): 539-542.
- [7] 蒋学辉, 冯炳灿, 黄次伟. 早稻白背飞虱的增殖力和为害损失研究[J]. 浙江农业科学, 1998(2): 81-83.

- [10] 王建伟, 骆有庆, 宗世祥. 沙蒿木蠹蛾生物学特性研究[J]. 昆虫学报, 2011, 54(7):809-814.
- [11] 宗世祥, 骆有庆, 许志春, 等. 沙棘木蠹蛾幼虫龄期的初步研究[J]. 应用昆虫学报, 2006, 43(5):626-631.
- [12] 宗世祥. 沙棘木蠹蛾生物生态学特性的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [13] 宗世祥, 骆有庆, 许志春, 等. 沙棘木蠹蛾幼虫龄期的初步研究[J]. 应用昆虫学报, 2006, 43(5):626-631.
- [14] 王志英, 岳书奎, 张国财. 几种森林昆虫耐寒性的研究[C]// 青年生态学者论丛. 北京: 中国科学技术出版社, 1991.
- [15] 刘玉娟, 张天涛, 白树雄, 等. 越冬期不同阶段二点委夜蛾越冬幼虫耐寒性变化[J]. 昆虫学报, 2014, 57(3):379-384.
- [16] 王鹏, 凌飞, 于毅, 等. 桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态[J]. 生态学报, 2011, 31(3):638-645.
- [17] 王锦林, 冯宇倩, 宗世祥. 昆虫耐寒性的类型、测定方法及影响因素综述[J]. 安徽农学通报, 2013(9):32-35.
- [18] Denlinger D L. Relationship between cold hardiness and diapause [M]. Insects at Low Temperature. Springer US, 1991:174-198.
- [19] Chippendale R E. Insects at low temperature[J]. American Entomologist, 1991, 37(2):119-121.
- [20] 赵建兴, 杨忠岐, Jean-Claude Gregoire. 红脂大小蠹 *Dendroctonus valens* (Coleoptera, Scolytidae) 和大喙蜡甲 *Rhizophagus grandis* (Coleoptera, Rhizophagidae) 的耐寒性[J]. 环境昆虫学报, 2009, 31(1):20-28.
- [21] Bouchard R W, Carrillo M A, Kells S A, et al. Freeze tolerance in larvae of the winter-active *Diamesa mendotae*, Muttowski (Diptera: Chironomidae); a contrast to adult strategy for survival at low temperatures [J]. Hydrobiologia, 2006, 568(1):403-416.
- [22] Ma Ruiyan, Hao Shugang, Kong Weina, et al. Cold hardiness as a factor for assessing the potential distribution of the Japanese pine sawyer *Monochamus alternates* (Coleoptera: Cerambycidae) in China [J]. Annals of Forest Science, 2006, 63:449-456.
- [23] 路常宽, 骆有庆, 许志春, 等. 沙棘木蠹蛾的人工饲养[J]. 应用昆虫学报, 2005, 42(2):211-214.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 61 页)

- [8] 刘慧敏, 张国安. 用正交试验法优选二化螟人工饲料配方[J]. 昆虫知识, 2007, 44(5):754-757.
- [9] 季清娥, 任真真, 黄居昌, 等. 橘小实蝇幼虫液体人工饲料正交设计优化[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2009, 38(6):567-572.
- [10] 宋国晶, 李国平, 封洪强, 等. 用正交试验法优选绿盲蝽若虫人工饲料配方[J]. 植物保护, 2010, 36(6):96-99.
- [11] 刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析方法研究[J]. 实验技术与管理, 2010, 27(9):52-55.
- [12] Fu Qiang, Zhang Zhitao, Hu Cui, et al. A chemically defined diet enables continuous rearing of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) [J]. Applied Entomology and Zoology, 2001, 36(1):111-116.
- [13] 曾玲, 吴荣宗, 冯成, 等. 水稻品种游离氨基酸含量与抗褐稻虱的关系[J]. 华南农业大学学报, 1992, 13(4):69-76.
- [14] 朗志飞. 江淮稻区白背飞虱种群上升及灾变机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2001.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 66 页)

- [15] 邵淑霞, 李春艳, 杨仕生, 等. 井上蛀果斑螟幼虫和蛹的形态描述及生物学特性[J]. 云南农业大学学报, 2008, 23(1):22-24.
- [16] 白玲玲, 张祖兵, 杨仕生, 等. 云南石榴新记录害虫井上果斑螟的形态学及种群动态特征[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(2):183-187.
- [17] 秦卓, 蒋智林, 李正跃, 等. 石榴不同部位对井上蛀果斑螟 (*Assara inouei*) 产卵行为的影响[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2008, 30(S1):123-126.
- [18] 韩伟君, 肖春, 杨仕生, 等. 井上蛀果斑螟羽化及交配行为学特征研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2008, 30(S1):120-122.
- [19] 何超, 沈登荣, 尹立红, 等. 井上蛀果斑螟昼夜行为节律研究[J]. 植物保护, 2016, 42(3):137-140.
- [20] Leather S R. Sex ratio and reproductive success in the pine beauty moth, *Panolis flammea* (Den. & Schiff.) (Lep., Noctuidae) [J]. Journal of Applied Entomology, 1990, 109(1-5):200-204.
- [21] 向玉勇, 杨茂发. 小地老虎的交配行为和能能力[J]. 昆虫知识, 2008, 45(1):50-53.
- [22] Sattar M, Hamed M, Nadeem S, et al. Effect of altering parent sex ratio on egg laying and subsequent development in *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Pakistan Journal of Zoology, 2015, 47(5):1355-1360.

(责任编辑: 田 喆)