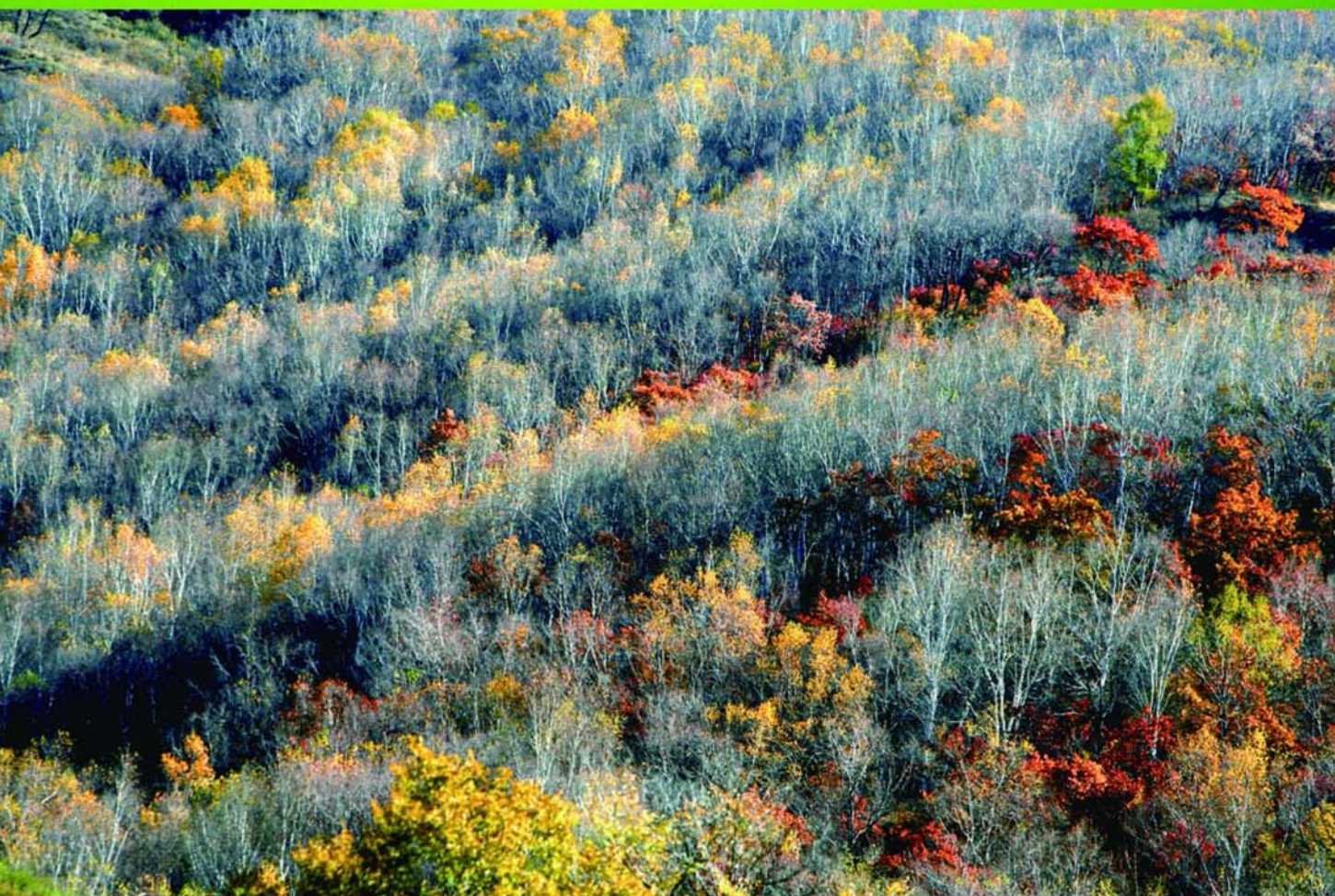


ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第16期 Vol.31 No.16 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 16 期

2011 年 8 月 (半月刊)

目次

人工和天然湿地芦苇根际土壤细菌群落结构多样性的比较·····	汪仲琼,王为东,祝贵兵,等 (4489)
不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟·····	郎莹,张光灿,张征坤,等 (4499)
不同颜色遮阳网遮光对丘陵茶园夏秋茶和春茶产量及主要生化成分的影响·····	秦志敏,付晓青,肖润林,等 (4509)
镉胁迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响·····	吴坤,吴中红,邵付菊,等 (4517)
条浒苔和缘管浒苔对镉胁迫的生理响应比较·····	蒋和平,郑青松,朱明,等 (4525)
盐胁迫对拟南芥和盐芥莲座叶芥子油苷含量的影响·····	庞秋颖,陈思学,于涛,等 (4534)
长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响·····	高菊生,曹卫东,李冬初,等 (4542)
基于水量平衡下灌区农田系统中氮素迁移及平衡的分析·····	杜军,杨培岭,李云开,等 (4549)
苏北海滨湿地互花米草种子特征及实生苗生长·····	徐伟伟,王国祥,刘金娥,等 (4560)
基于 AnnAGNPS 模型的三峡库区秭归县非点源污染输出评价·····	田耀武,黄志霖,肖文发 (4568)
镉污染对不同生境拟水狼蛛氧化酶和金属硫蛋白应激的影响·····	张征田,庞振凌,夏敏,等 (4579)
印度洋南赤道流区水体叶绿素 a 的分布及粒级结构·····	周亚东,王春生,王小谷,等 (4586)
长江口滩涂围垦后水鸟群落结构的变化——以南汇东滩为例·····	张斌,袁晓,裴恩乐,等 (4599)
应用鱼类完整性指数 (FAII) 评价长江口沿岸碎波带健康状况·····	毛成贵,钟俊生,蒋日进,等 (4609)
基于渔业调查的南极半岛北部水域南极磷虾种群年龄结构分析·····	朱国平,吴强,冯春雷,等 (4620)
水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的验证与适应性评价·····	莫志鸿,冯利平,邹海平,等 (4628)
旱地农田不同耕作系统的能量/碳平衡·····	王小彬,王燕,代快,等 (4638)
宁夏黄灌区稻田冬春休闲期硝态氮淋失量·····	王永生,杨世琦 (4653)
太湖沉积物有机碳与氮的来源·····	倪兆奎,李跃进,王圣瑞,等 (4661)
日偏食对乌鲁木齐空气可培养细菌群落的影响·····	马晶,孙建,张涛,等 (4671)
灰飞虱与褐飞虱种内和种间密度效应比较·····	吕进,曹婷婷,王丽萍,等 (4680)
圈养马来熊行为节律和时间分配的季节变化·····	兰存子,刘振生,王爱善,等 (4689)
塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征·····	韩路,王海珍,陈加利,等 (4699)
珍稀植物伯乐树一年生更新幼苗的死亡原因和保育策略·····	乔琦,秦新生,邢福武,等 (4709)
垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响·····	多立安,王晶晶,赵树兰 (4717)
CLM3.0-DGVM 中植物叶面积指数与气候因子的时空关系·····	邵璞,曾晓东 (4725)
基于生态效率的辽宁省循环经济分析·····	韩瑞玲,佟连军,宋亚楠 (4732)
专论与综述	
土壤食物网中的真菌/细菌比率及测定方法·····	曹志平,李德鹏,韩雪梅 (4741)
生态社区评价指标体系研究进展·····	周传斌,戴欣,王如松,等 (4749)
问题讨论	
不同胁迫条件下化感与非化感水稻 PAL 多基因家族的差异表达·····	方长甸,王清水,余彦,等 (4760)
研究简报	
钦州湾大型底栖动物生态学研究·····	王迪,陈丕茂,马媛 (4768)
人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征·····	董凯凯,王惠,杨丽原,等 (4778)
基于地统计学丰林自然保护区森林生物量估测及空间格局分析·····	刘晓梅,布仁仓,邓华卫,等 (4783)
晋西黄土区辽东栎、山杨树干液流比较研究·····	隋旭红,张建军,文万荣 (4791)
小兴安岭典型苔草和灌木沼泽 N ₂ O 排放及影响因子·····	石兰英,牟长城,田新民,等 (4799)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-08	



封面图说:在长白山麓低海拔地区的晚秋季节,成片的白桦林用无数根白色的树干、树枝烘托着林冠上跳动的金黄色叶片,共生的柞木树冠用更浓重的颜色显示了它的存在,整个山梁层林尽染,秋意浓浓。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

吕进, 曹婷婷, 王丽萍, 蒋明星, 程家安. 灰飞虱与褐飞虱种内和种间密度效应比较. 生态学报, 2011, 31(16): 4680-4688.

Lü J, Cao T T, Wang L P, Jiang M X, Cheng J A. Comparative study on density related intra- and inter-specific effects in *Laodelphax striatellus* (Fallen) and *Nilaparvata lugens* (Stål). Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4680-4688.

灰飞虱与褐飞虱种内和种间密度效应比较

吕 进, 曹婷婷, 王丽萍, 蒋明星, 程家安*

(农业部“作物病虫害分子生物学”重点开放实验室, 浙江大学农业与生物技术学院昆虫科学研究所, 杭州 310029)

摘要:在人工气候室内比较研究了灰飞虱和褐飞虱在汕优 63 和秀水 11 上的种内和种间密度效应对其主要生物学参数的影响, 结果表明两种稻飞虱均存在显著的种内竞争, 主要表现为随着密度增加, 若虫发育历期延长、若虫羽化率下降、雌成虫寿命缩短、每雌产卵量下降。种内密度效应与稻飞虱种类和寄主品种有显著互作关系, 灰飞虱种内竞争较褐飞虱明显, 二者在适宜寄主上种内竞争更为明显。同时, 两种稻飞虱存在着显著的种间密度效应, 主要表现为异种存在时的促进作用, 即异种共存时若虫历期缩短、若虫羽化率提高、雌成虫寿命延长、每雌产卵量增加。种间密度效应也与稻飞虱种类和寄主品种有显著互作关系, 两种共存对灰飞虱的有利作用显著大于对褐飞虱的有利作用, 在欠适宜寄主上种间互利效应更为明显。最后, 对稻飞虱种内和种间密度效应的机制和进化意义进行了讨论。

关键词:稻飞虱; 密度; 寄主品种; 竞争; 促进作用

Comparative study on density related intra- and inter-specific effects in *Laodelphax striatellus* (Fallen) and *Nilaparvata lugens* (Stål)

LÜ Jin, CAO Tingting, WANG Liping, JIANG Mingxing, CHENG Jiaan*

Key Laboratory of Molecular Biology of Crop Pathogens and Insects, Ministry of Agriculture, Institute of Insect Sciences, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

Abstract: Small Brown Planthopper (SBPH) *Laodelphax striatellus* (Fallen) and Brown Planthopper (BPH) *Nilaparvata lugens* (Stål) have been the major insect pests in Chinese rice ecosystem at different times since 1960s, but simultaneously caused serious damage at the heading stage in the Yangtze Delta area in the recent years. To understand the ecological mechanisms of simultaneous outbreaks of the two rice planthopper species in the area, the density related intra- and inter-specific effects for SBPH and BPH on their main biological parameters, including nymphal development duration, emergence rate, longevity and fecundity of female adult, were studied in the laboratory using indica hybrid Shan You 63 and japonica Xiu Shui 11 as host plant varieties. The results showed that there was significant intraspecific competition, as well as interspecific facilitation, for both planthopper species. Intraspecific competition resulted in prolonged nymphal development duration, lower emergence rate, shorter longevity and lower fecundity of female adult as initial density was increased. In contrast, the interspecific facilitation resulted in shorter nymphal development duration, higher emergence rate, prolonged longevity and higher fecundity of female adult when the two species were coexisted. Both intra- and inter-specific effects were significantly interacted with planthopper species and host variety. The density related intra- and inter-specific effects on *L. striatellus* is higher than those on *N. lugens*. The intra-specific competition on a relative suitable host variety was higher than that on the other variety, but the inter-specific facilitation on the relative unsuitable host variety was higher than that on the other host variety. Findings are discussed in relation to underlying mechanisms and evolutionary

基金项目: 国家 973 项目(2010CB126200); 国家自然科学基金资助(30771420)

收稿日期: 2010-09-02; 修订日期: 2010-11-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jacheng@zju.edu.cn

significance, as well as the possible interaction between interspecific facilitation and simultaneous outbreak of SBPH and BPH.

Key Words: rice planthoppers; density; host plant variety; competition; facilitation

长期以来,植食性昆虫种间的相互关系一直是生态研究的热点,通常人们更关注植食性昆虫种间竞争等负面影响^[1-2]。Denno^[1]等分析了 193 对以往研究过的植食性昆虫的种间关系,认为 93% 的刺吸式口器昆虫和 78% 的咀嚼式口器昆虫间存在着竞争关系。近年来的研究表明昆虫种间不仅存在着竞争等不利影响,同时也存在有利的促进(Facilitation)作用^[3-5]。

自 20 世纪 60 年代起,灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallen) (SBPH)、褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH) 和白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) (WBPH) 先后成为亚洲稻区的重要害虫,混合发生,交替危害,严重威胁水稻生产^[6]。近年长三角稻区单季晚稻田稻飞虱发生的一个重要特点是水稻穗期褐飞虱和灰飞虱的同田成灾,即在晚稻抽穗期前后褐飞虱虫量高峰后,紧接着在灌浆期出现灰飞虱虫量高峰,以致灰飞虱直接吸食稻穗引起严重危害^[7-9]。以往研究表明褐飞虱和白背飞虱共存可促进白背飞虱若虫发育,提高若虫存活率、羽化率、成虫产卵量,显著提高白背飞虱增殖倍数^[10-13]。为了探索上述两种飞虱种群同田成灾现象是否与两种稻飞虱的种间效应有关,在实验条件下比较研究了褐飞虱和灰飞虱的种内和种间密度效应对两种稻飞虱主要生物学参数的影响及其与寄主品种的关系,现将有关结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 供试水稻

供试水稻品种来源及对褐飞虱和灰飞虱的抗性表现见表 1。将 2 个品种的水稻种子分别播于土壤条件一致的塑料盆中,定期均匀施肥(整个生育期平均每株水稻 0.01g 尿素)。在秧龄 30—40d 时开始试验。实验当天从泥中挖出,取主茎,清洗干净,保证根系不受损伤,并用海绵包裹稻苗根部,放入试管(3cm×21cm)内,添加木村 B 营养液培养^[14],每管两株稻苗。

表 1 供试水稻品种的来源及抗性表现
Table 1 The sources and resistant levels of rice varieties used

品种 Variety	类型 Strain	提供单位 Seed providers	抗性表现 * Resistance Level	
			BPH ^[15]	SBPH ^[16-17]
汕优 63SY63	籼杂	杭州市良种引进公司	S	MR
秀水 11XS11	粳稻	嘉兴农业科学研究院	S	S

* S 和 MR 分别表示品种对稻飞虱抗性水平为感性和中抗

1.2 供试昆虫

初始褐飞虱、灰飞虱种群均采自浙江大学华家池校区实验农场,在人工气候室内分别在汕优 63(褐飞虱)和秀水 110(秀水 11 的近缘品系,遗传背景基本一致)(灰飞虱)上饲养 10 代以上。

1.3 若虫期种内和种间密度效应

在温度(25±1)℃,光照 14L:10D 的人工气候室内进行。经预备试验,以若虫羽化率降至 50% 左右的密度为密度上限,根据不同处理按以下标准设定各项试验的密度,重复 10 次以上:

单种种内密度效应 4、8、16;

单种密度相同条件下种间密度效应的种间比 4:0、4:4、8:0、8:8;

总密度相同条件下种间密度效应的种间比 4:12、8:8、12:4、16:0。

试验时取同一天刚孵化的 1 龄若虫,按各处理设置接入虫量。当高密度处理苗变黄时,所有试管均换苗。每天调查存活虫数;近羽化时,每天查羽化虫数、记录历期、性别,并将当天羽化虫吸出。全部羽化后统计雌、雄虫平均历期、若虫羽化(存活)率。

1.4 成虫期种内和种间密度效应

在温度(25±1)℃,光照为 14L:10D 的人工气候室内进行。经预备试验,以成虫产卵量降至 25% 左右的密度为密度上限,根据不同处理按以下标准设定各项试验的密度,重复 10 次以上:

单种种内密度效应 1 对、2 对、3 对;

单种密度相同条件下种间密度效应的种间比 1:0、1:1、2:0、2:1;

总密度相同条件下的种间密度效应的种间比 1:1、2:1、3:0。

试验时取同一天刚羽化的长翅成虫,按各处理设置接入虫量。每天检查成虫存活情况,每隔 5d 换 1 次稻苗,剥查和镜检稻苗上各种飞虱的卵量,直至成虫全部死亡,统计雌虫平均寿命和平均每雌产卵量。

1.5 统计方法

应用 DPS 统计分析软件^[18]对试验结果进行方差分析、LSD 法多重比较。对于若虫羽化(存活)率,进行反正弦平方根转换后进行方差分析和多重比较。数据表示均为平均数±标准误。

2 结果与分析

2.1 灰飞虱和褐飞虱若虫期种内密度效应

在以汕优 63 和秀水 11 为寄主条件下,灰飞虱和褐飞虱种内密度效应对雌、雄若虫历期和若虫羽化率的影响如表 2。多因素方差分析表明,稻飞虱种类($F_{1,92}=132.87$, $P<0.0001$)和密度($F_{2,92}=17.26$, $P<0.0001$)对雌若虫发育历期有极显著影响,稻飞虱种类与密度($F_{2,92}=15.98$, $P<0.0001$)对雌若虫发育历期有极显著互作关系;稻飞虱种类($F_{1,95}=149.98$, $P<0.0001$)和密度($F_{2,95}=4.44$, $P=0.0144$)对雄若虫发育历期有显著影响;稻飞虱种类($F_{1,104}=23.92$, $P<0.0001$)和密度($F_{2,104}=7.17$, $P=0.0012$)对若虫羽化率有极显著影响。同时,方差分析表明以秀水 11 为寄主的灰飞虱雌若虫历期($F_{1,92}=8.80$, $P=0.0038$)极显著短于以汕优 63 为寄主的。

表 2 灰飞虱和褐飞虱若虫期种内密度效应对若虫发育历期和羽化率的影响

Table 2 Impacts of intra-specific interaction on nymphal development durations and emergence rates of SBPH and BPH					
种类 Species	品种 Variety	密度 Density	若虫历期 Nymphal development duration/d		羽化率/% Emergence rate/%
			雌 Females	雄 Males	
灰飞虱 SBPH	汕优 63	4	17.67±0.42 bB	17.60±0.65 a	65.00±5.97 a
		8	19.30±0.84 abAB	18.20±0.52 a	55.78±10.02 ab
		16	20.99±0.90 aA	18.96±0.72 a	40.44±5.01 b
	秀水 11	4	15.90±0.45 cB	16.69±0.37 b	75.00±9.13 aA
		8	17.66±0.82 bB	18.60±0.66 a	50.20±6.93 bB
		16	20.78±0.52 aA	18.90±0.74 a	52.60±3.66 bB
褐飞虱 BPH	汕优 63	4	15.13±0.35 a	14.41±0.29 a	80.00±6.24 a
		8	15.12±0.19 a	14.72±0.13 a	76.40±6.29 a
		16	14.90±0.22 a	14.47±0.16 a	75.80±4.66 a
	秀水 11	4	15.22±0.21 a	14.78±0.24 a	82.50±5.34 a
		8	15.90±0.28 a	15.10±0.26 a	73.90±8.59 a
		16	15.68±0.26 a	15.01±0.30 a	63.50±7.06 a

数据表示均为平均数±标准误。统计分析是基于同种飞虱、相同水稻品种上同列不同密度之间的数据,不同小写字母和大写字母分别表示在 5% 和 1% 水平上存在差异,相同字母表示差异不显著,未标大写字母的是在 1% 水平无显著差异

多重比较表明两种品种上灰飞虱雌若虫平均历期随密度的增加而显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)延长。但是,种内密度效应对雄虫历期的影响相对较小,仅有灰飞虱在以秀水 11 为寄主时,随着种内密度的提高,雄虫历期显著延长。灰飞虱若虫羽化率也表现出随种内密度的增加而显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)降低的趋势,而在以秀水 11 为寄主时这一影响更为明显。然而,在供试密度条件下,褐飞虱种内密度效应对其若虫历期和羽化率均无显著影响,表明褐飞虱若虫阶段较灰飞虱具有较强耐受密度效应的能力。

2.2 灰飞虱和褐飞虱成虫期种内密度效应

两种稻飞虱成虫在秀水 11 和汕优 63 上饲养,种内密度效应对雌虫寿命和每雌产卵量的影响如表 3。多因素方差分析表明,水稻品种 ($F_{1,105} = 15.34$, $P = 0.0002$)、稻飞虱种类 ($F_{1,105} = 60.64$, $P < 0.0001$)、密度 ($F_{2,105} = 7.2$, $P = 0.0012$) 均对两种稻飞虱雌成虫寿命有极显著影响。水稻品种 ($F_{1,103} = 11.67$, $P = 0.0009$)、稻飞虱种类 ($F_{1,103} = 420.95$, $P < 0.0001$) 和密度 ($F_{2,103} = 41.04$, $P < 0.0001$) 也均对稻飞虱每雌产卵量有极显著影响,而稻飞虱种类与密度 ($F_{2,103} = 39.62$, $P < 0.0001$) 对褐飞虱每雌产卵量有极显著的互作关系。同时,水稻品种与稻飞虱种类对两种稻飞虱的雌成虫寿命和每次产卵量均有显著的互作关系,以汕优 63 为寄主的褐飞虱雌成虫寿命 ($F_{1,105} = 5.12$, $P = 0.0257$) 和每雌产卵量 ($F_{1,103} = 12.13$, $P = 0.0007$) 显著和极显著高于以秀水 11 为寄主的。

多重比较表明灰飞虱和褐飞虱雌成虫寿命均随着密度的增高而降低,但仅有在秀水 11 上的灰飞虱和汕优 63 上的褐飞虱在高密度条件下,雌成虫寿命表现为显著 ($P < 0.05$) 缩短。褐飞虱平均每雌产卵量高,在两个品种上均表现出随密度增加,每雌产卵量极显著 ($P < 0.01$) 下降的趋势,而在汕优 63 上,这一趋势也更加明显。然而,由于本试验灰飞虱每雌产卵量极低,未表现出种内密度对每雌产卵量的影响。

表 3 灰飞虱和褐飞虱成虫期种内密度效应对雌成虫寿命和每雌产卵量的影响

Table 3 Impacts of intra-specific interaction on longevity and fecundity of female SBPH and BPH adults

稻飞虱种类 Species	品种 Varieties	密度 Densities	雌成虫寿命/d Longevity of females	产卵量/(粒/每雌) Fecundity/(eggs/ per female)
灰飞虱 SBPH	汕优 63	1 对	8.80±1.82 a	14.20±7.72 a
		2 对	7.60±1.22 a	7.55±3.56 a
		3 对	6.40±0.76 a	5.13±4.84 a
	秀水 11	1 对	9.20±1.47 a	8.50±3.49 a
		2 对	6.70±0.59 ab	11.67±7.80 a
		3 对	5.64±0.42 b	10.33±4.78 a
褐飞虱 BPH	汕优 63	1 对	17.70±2.02 a	685.00±42.63 aA
		2 对	14.55±0.89 ab	397.85±41.22 bB
		3 对	12.98±1.18 b	261.26±38.35 cB
	秀水 11	1 对	12.78±1.47 a	526.63±69.67 aA
		2 对	12.25±1.47 a	285.60±50.13 bB
		3 对	9.41±0.87 a	153.22±25.05 bB

2.3 灰飞虱和褐飞虱若虫期种间效应

为了明确褐飞虱与灰飞虱种间密度效应对两种飞虱若虫历期和羽化率的影响,在汕优 63 和秀水 11 两个品种上分别以 4 头和 8 头单种,以及分别加入异种 4 头和 8 头两种共存等 4 个处理进行比较研究,结果如表 4。多因素方差分析表明,稻飞虱种类 ($F_{1,124} = 80.44$, $P < 0.0001$)、密度 ($F_{3,124} = 12.07$, $P < 0.0001$) 对雌若虫发育历期有极显著影响,而水稻品种与稻飞虱种类 ($F_{1,124} = 11.97$, $P = 0.0007$),以及稻飞虱种类与密度 ($F_{3,124} = 4.28$, $P = 0.0065$) 对两种飞虱雌若虫发育历期均有极显著的互作关系。同时,稻飞虱种类 ($F_{1,127} = 116.78$, $P < 0.0001$)、密度 ($F_{3,127} = 18.11$, $P < 0.0001$) 对雄若虫历期有极显著影响,而仅稻飞虱种类与密度 ($F_{3,127} = 12.29$, $P < 0.0001$) 对两种飞虱雄若虫发育历期有极显著的互作关系。然而,仅稻飞虱种类 ($F_{1,143} = 13.43$, $P = 0.0003$) 和密度 ($F_{3,143} = 3.94$, $P = 0.0098$) 对两种飞虱的若虫羽化率有极显著影响。

多重比较表明,在某种同种密度相同条件下,加入等量异种稻飞虱,可使该种雌、雄若虫发育历期较仅单种存在时显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 缩短,即尽管两种共存时导致总稻飞虱密度加倍,但异种的存在反使该种稻飞虱加快了发育,若虫发育期缩短。这一种间密度效应对灰飞虱若虫发育历期的作用更为明显,同时表现出对雌、雄若虫历期的影响。然而,这一种间密度效应对褐飞虱若虫历期的影响仅表现在雌若虫发育历期,表现出稻飞虱种类与密度对雌、雄若虫历期影响的交互作用。稻飞虱的这一种间密度效应也表现出

水稻品种间的差异,褐飞虱的这一效应仅表现在秀水 11 上,而灰飞虱的这种效应在汕优 63 上较秀水 11 上更为明显,体现了水稻品种与稻飞虱种类对雌若虫发育历期的交互作用。

同时,加入等量异种稻飞虱使稻飞虱总密度加倍后,在汕优 63 上的褐飞虱羽化率反较单种存在时显著提高,而其余处理的单种和加入等量异种的各处理间均无显著差异,表明即便异种存在导致总稻飞虱密度加倍,但并未出现如单种密度加倍时所产生的对羽化率的不利影响,也在一定程度上反映了种间的促进作用。

表 4 灰飞虱和褐飞虱种间密度效应对若虫发育历期和羽化率的影响

Table 4 Impacts of inter-specific interaction on nymphal development duration and emergence rate of SBPH and BPH

稻飞虱种类 Species	品种 Variety	密度 Density	若虫历期 Nymphal development durations/d		羽化率/% Emergence rate/%
			雌 Females	雄 Males	
灰飞虱 SBPH	汕优 63	4S+0B	17.67±0.42 bAB	17.60±0.65 aA	65.00±5.97 a
		4S+4B	16.02±0.23 cB	15.83±0.28 bB	75.00±8.33 a
		8S+0B	19.30±0.84 aA	18.20±0.52 aA	55.78±10.02a
		8S+8B	16.67±0.35 bcB	15.69±0.33 bB	64.10±8.23 a
	秀水 11	4S+0B	15.90±0.45 b	16.69±0.37 bB	75.00±9.13 a
		4S+4B	15.86±0.64 b	15.13±0.37 cB	75.00±6.45 ab
		8S+0B	17.66±0.82 a	18.60±0.66 aA	50.20±6.93 c
		8S+8B	16.14±0.40 ab	15.38±0.30 bcB	56.60±5.98 bc
褐飞虱 BPH	汕优 63	4B+0S	15.13±0.35 a	14.41±0.29 a	80.00±6.24 b
		4B+4S	14.77±0.08 a	14.44±0.18 a	95.00±5.00 a
		8B+0S	15.12±0.19 a	14.72±0.13 a	76.40±6.29 b
		8B+8S	14.68±0.20 a	14.55±0.34 a	75.20±7.40 b
	秀水 114	B+0S	15.20±0.19 abAB	14.78±0.24 a	82.50±5.34 a
		4B+4S	15.12±0.28 bAB	14.69±0.27 a	70.00±7.26 a
		8B+0S	15.90±0.28 aA	15.10±0.26 a	73.90±8.59 a
		8B+8S	14.92±0.23 bB	14.66±0.18 a	68.90±7.52 a

S 为灰飞虱, B 为褐飞虱

2.4 灰飞虱和褐飞虱成虫期种间效应

为明确褐飞虱与灰飞虱种间效应对雌成虫寿命和每雌产卵量的影响,在汕优 63 和秀水 11 两个品种上,分别以每管 1 对和 2 对单种,以及分别加入 1 对异种稻飞虱两种共存等 4 个处理进行比较研究,结果如表 5。

表 5 灰飞虱和褐飞虱种间密度效应对雌成虫寿命和产卵量的影响

Table 5 Impacts of inter-specific interaction on female longevity and fecundity of SBPH and BPH

稻飞虱种类 Species	品种 Varieties	密度 Densities	雌成虫寿命/d	产卵量/(粒/每雌)
			Longevity of females/d	Fecundity/(eggs/per female)
灰飞虱 SBPH	汕优 63	1S+0B	8.80±1.82 b	14.20±7.72 cBC
		1S+1B	13.20±1.51 a	83.20±13.52 aA
		2S+0B	7.60±1.22 b	7.55±3.56 cC
		2S+1B	9.39±0.75 ab	47.06±10.72 bAB
	秀水 11	1S+0B	9.20±1.47 bcBC	8.50±3.49 cB
		1S+1B	14.80±1.82 aA	84.10±15.26 aA
		2S+0B	6.70±0.59 cC	11.67±7.80 cB
		2S+1B	12.00±1.27 abAB	44.90±10.60 bAB
褐飞虱 BPH	汕优 63	1B+0S	17.70±2.02 a	685.00±42.63 aA
		1B+1S	16.10±1.05 a	481.00±72.16 bB
		2B+0S	14.55±0.89 a	397.85±41.23 bB
		2B+1S	15.70±0.85 a	348.60±28.14 bB
	秀水 11	1B+0S	12.78±1.47 a	526.63±69.67 aA
		1B+1S	16.10±2.14 a	345.30±51.73 bAB
		2B+0S	12.25±1.47 a	285.60±50.13 bB
		2B+1S	12.90±1.54 a	243.50±41.63 bB

多因素方差分析表明,水稻品种 ($F_{1,141} = 5.76$, $P = 0.0177$)、稻飞虱种类 ($F_{1,141} = 38.42$, $P < 0.0001$)、密度 ($F_{3,141} = 7.14$, $P = 0.0002$) 对两种飞虱的雌成虫寿命有显著或者极显著影响,而水稻品种与稻飞虱种类 ($F_{1,141} = 5.87$, $P = 0.0166$) 对雌成虫寿命有显著的互作关系。同时,水稻品种 ($F_{1,139} = 11.99$, $P = 0.0007$)、稻飞虱种类 ($F_{1,139} = 421.76$, $P < 0.0001$) 和密度 ($F_{3,139} = 12.44$, $P < 0.0001$) 对平均每雌产卵量的有极显著影响,而水稻品种与稻飞虱种类 ($F_{1,139} = 11.72$, $P = 0.0008$) 以及稻飞虱种类与密度 ($F_{3,139} = 16.43$, $P < 0.0001$) 对平均每雌产卵量有极显著的互作关系。

多重比较分析表明,在供试密度范围内,随着单种稻飞虱密度的提高,雌成虫寿命和每雌产卵量均有降低的趋势,但除褐飞虱每雌产卵量外,均未达显著水平。然而,在单种稻飞虱密度相同情况下,加入 1 对异种稻飞虱成虫时,两个品种上灰飞虱的雌成虫寿命和每雌产卵量均有显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 的提高。但是,褐飞虱在两个品种上并未表现出这一种间促进效应,表现出稻飞虱种类与品种对这一种间密度效应的交互作用。

2.5 灰飞虱和褐飞虱种内和种间效应的比较

为了比较灰飞虱和褐飞虱种内和种间效应对两种稻飞虱主要参数的相对影响,特设定若虫总密度为 16 和成虫总密度为 3 对两个密度,并对每一密度中两种稻飞虱的比例按若虫为 4:12、8:8、12:4 和 16:0;成虫为 1:2、2:1 和 3:0 设定,分别在汕优 63 和秀水 11 上饲养,结果如图 1。多因素方差分析表明,稻飞虱种类 ($F_{1,128} = 156.53$, $P < 0.0001$)、密度组合 ($F_{3,128} = 43.28$, $P < 0.0001$) 对雌若虫发育历期有极显著影响,而稻飞虱种类与密度组合 ($F_{3,128} = 33.99$, $P < 0.0001$) 对雌若虫历期有极显著互作关系。仅稻飞虱种类 ($F_{1,137} = 19.25$, $P < 0.0001$) 对若虫羽化率有极显著影响、而稻飞虱种类与密度组合 ($F_{3,137} = 4.13$, $P = 0.0077$) 对若虫羽化率有极显著互作关系。密度组合 ($F_{2,106} = 11.49$, $P < 0.0001$)、稻飞虱种类 ($F_{1,106} = 31.19$, $P < 0.0001$) 和水稻品种 ($F_{1,106} = 7.96$, $P = 0.0057$) 均对雌成虫寿命有极显著影响,而水稻品种与稻飞虱种类 ($F_{1,106} = 4.54$, $P = 0.0355$) 对雌成虫寿命有极显著互作关系。同样,密度组合 ($F_{2,106} = 11.07$, $P < 0.0001$)、稻飞虱种类 ($F_{1,106} = 168.38$, $P < 0.0001$) 和水稻品种 ($F_{1,106} = 8.56$, $P = 0.0042$) 均对平均每雌产卵量有极显著影响,且稻飞虱种类与密度 ($F_{2,106} = 3.26$, $P = 0.0423$) 以及水稻品种与稻飞虱种类 ($F_{1,106} = 6.72$, $P = 0.0109$) 对平均每雌产卵量具有显著互作关系。

多重比较表明在总密度相同,在两个供试品种为寄主的条件下,两种稻飞虱以上 4 个参数均随异种密度增加而向有利于种群发展的趋势变化,但对灰飞虱的有利作用更为显著,灰飞虱雌若虫历期、羽化率、雌成虫寿命和平均每雌产卵量均表现出随异种密度增加而显著向有利于种群发展方向转变,即雌若虫历期极显著地 ($P < 0.01$) 缩短、羽化率显著 ($P < 0.05$) 或极显著地 ($P < 0.01$) 提高、雌成虫寿命显著 ($P < 0.05$) 或极显著地 ($P < 0.01$) 延长和平均每雌产卵量显著 ($P < 0.05$) 或极显著地 ($P < 0.01$) 提高。然而,在以秀水 11 为寄主时,灰飞虱共存可对褐飞虱雌若虫历期、若虫存活率和每雌产卵量等参数均表现出随异种密度增加而显著向有利种群发展方向转变,而在汕优 63 上,灰飞虱共存仅对褐飞虱的平均每雌产卵量有一定促进作用(图 1)。以上结果反映了稻飞虱种类与密度组合和水稻品种与稻飞虱种类对这一种间密度效应的交互作用。

3 讨论

本研究选择了若虫发育历期、若虫羽化率(存活率)、雌成虫寿命和每雌产卵量等与昆虫种群数量动态密切相关的生物学参数,比较研究了两种稻飞虱的密度效应。结果表明褐飞虱和灰飞虱种内密度效应主要表现为竞争,即随着同种密度的增加,若虫发育历期延长、羽化率(存活率)降低;雌成虫寿命缩短、产卵量下降。然而,种间密度效应主要表现为促进,即在两种共存条件下异种的存在促使本种若虫历期缩短、羽化率提高;雌虫寿命延长、产卵量提高。鉴于在自然农业生态系统中,稻飞虱种群发展时期其种群数量大多是处于中等密度及以下水平,本研究选择在中等及以下密度条件下进行。同时,在若虫实验过程中,一旦高密度条件下寄主出现枯黄时即全部更换稻苗;而在成虫实验过程中,每 5d 更换 1 次稻苗,以防止若虫孵化带来的误差,也在一定程度上避免了高密度条件下的密度效应。这样,既可引起两种稻飞虱显著的种内和种间密度效应,也不

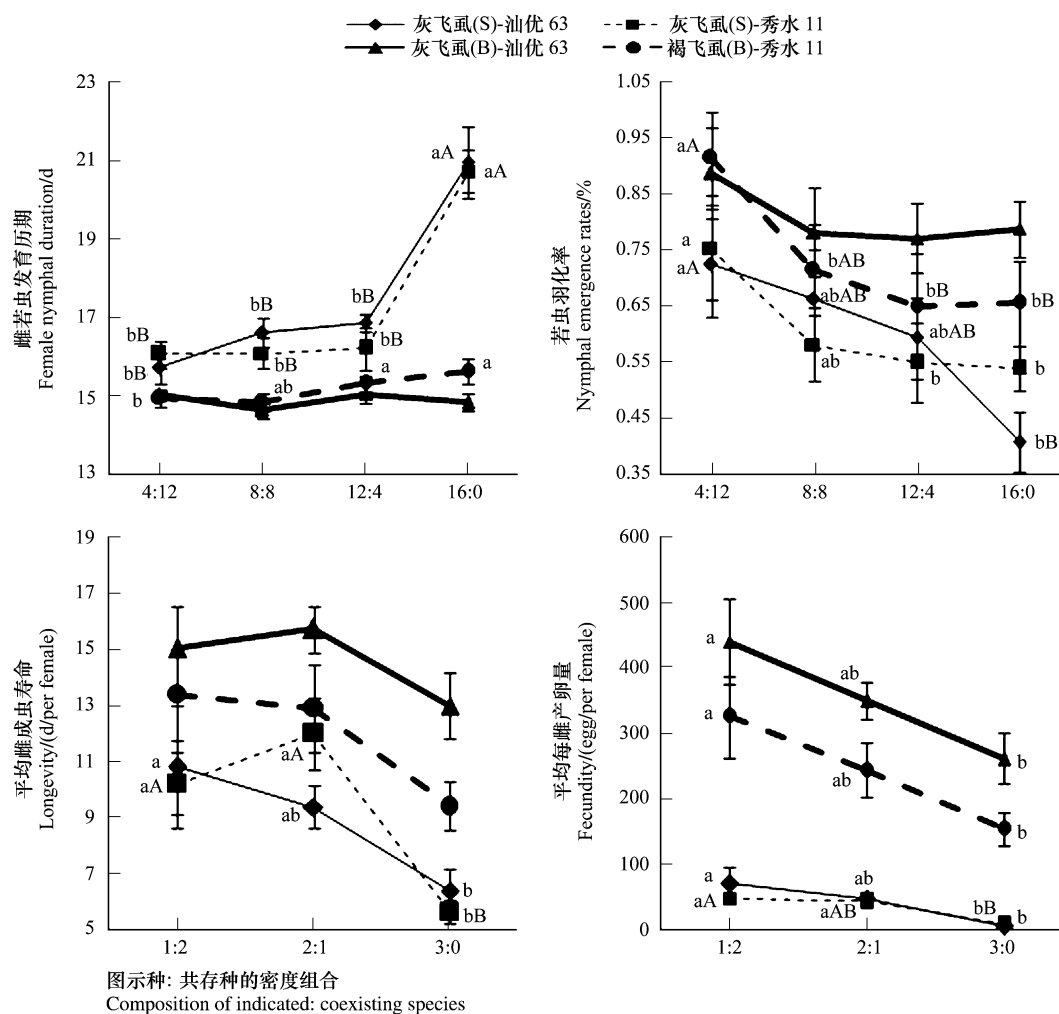


图 1 种间密度组合对褐飞虱和灰飞虱雌若虫发育历期、若虫存活率、平均雌成虫寿命和平均每雌产卵量的影响

Fig. 1 Impacts of two planthopper species composition on female nymphal development duration, emergence rate, longevity and fecundity of female adults of SBPH and BPH

横坐标表示两种稻飞虱的密度组合比——图示种:共存种;图示种即图例中表示的某种稻飞虱;共存种即与图示种共同存在的另外一种稻飞虱

会因密度过高而引起种群崩溃,从而可较客观地反映自然农业生态条件下稻飞虱种群发展期间所存在的种内和种间密度效应。

本研究结果表明,褐飞虱和灰飞虱这两种稻飞虱的种内和种间密度效应与稻飞虱种类和寄主水稻品种均有显著的互作关系。相对而言,灰飞虱的种内竞争作用和种间促进作用均强于褐飞虱,但褐飞虱的高生殖能力使其对每雌产卵量的种内效应远比生殖力较低的灰飞虱突出。同时,以秀水 11 为寄主的灰飞虱,以及以汕优 63 为寄主的褐飞虱的种内密度效应均较以另一品种为寄主的同种稻飞虱的效应更强;以汕优 63 为寄主的灰飞虱,以及以秀水 11 为寄主的褐飞虱种间密度效应均较以另一品种为寄主的同种稻飞虱的效应强。本试验使用的褐飞虱和灰飞虱是分别在汕优 63 和秀水 11 的近缘品系秀水 110 上连续饲养繁殖十代以上的种群,种内密度效应试验表明两种稻飞虱已对其饲养寄主水稻品种具有更高的适应性,尤其是在与饲养寄主秀水 110 相近品种秀水 11 上灰飞虱的若虫历期极显著短于在汕优 63 上的,而在饲养寄主汕优 63 上褐飞虱的雌成虫寿命和每雌产卵量显著多于在秀水 11 上的。上述结果表明在较为适宜的品种上稻飞虱种内竞争作用较强,而在较为不适宜的品种上两种稻飞虱的种间促进作用较强。

从种群数量动态角度考虑,上述褐飞虱和灰飞虱的种内和种间密度效应实际上是稻飞虱长期协同进化过

程中所形成的有利于种群发展的数量调节策略,当同种种群达到一定密度时,种内竞争的密度效应发挥调节作用,通过发育减慢、存活率降低或生殖力下降,以减缓种群增长速度,而在较为适宜的寄主品种条件下,种内竞争调节作用相对较强,从而降低因种群增长过快而导致种群崩溃的风险。同时,当两种共存时所表现出的种间促进作用更有利于寄主相同,而在时间生态位有所分化的两种稻飞虱种群共同发展。在长三角稻区,水稻种植后本地越冬的灰飞虱首先迁入并繁殖,至7月达高峰;7月前后为褐飞虱迁入高峰,此时形成第1个以灰飞虱为主的两种稻飞虱共存,褐飞虱种群发展期,至9—10月达高峰。随着气温升高,天敌控制作用增强,7月后灰飞虱种群数量明显下降,至9月气温下降后灰飞虱种群又开始上升,从而又进入了以褐飞虱为主的两种稻飞虱共存,灰飞虱种群快速发展期,导致水稻穗期灰飞虱种群暴发成灾^[6,9,19]。因而,褐飞虱和灰飞虱协同进化形成的种间促进作用可能是近年两种稻飞虱在长三角稻区同时、同田暴发成灾的重要原因之一。这一现象进一步证明害虫治理中必须强化的两个重要方面:首先,仅以单一靶标害虫检测所得到的品种抗性水平并不一定能代表该品种在田间对该害虫的实际抗性水平,因为不同种类的植食性昆虫共存可能产生诱导敏感性或诱导抗性,现行品种抗性鉴定技术急需完善^[15,19-24]。其次,害虫种群动态的分析和调控应建立在群落的基础上,不仅要考虑天敌营养层,而且还应考虑植食性营养层的物种组成及其主要种类间的相互关系,以能准确预测和有效调控种群动态^[3,24]。

寄主植物几乎是植食性昆虫的唯一营养来源,寄主植物营养是决定植食性昆虫生殖力的重要因素^[4,25-26]。在农业生态系统中通常多种植食性昆虫同时存在,一些植食性昆虫可以通过取食寄主植物,改变寄主的营养物质和防御物质的比例,或改变寄主植物养分的储存和运移方向来改变寄主植物的营养、诱导其产生次生化合物、诱导寄主植物形态发生改变,从而改变了植食性昆虫及其寄主植物的关系^[3-4,20]。例如,褐飞虱和白背飞虱共存时表现出种间的促进作用^[13],褐飞虱共存使以秀水11为寄主的白背飞虱若虫存活率和每雌产卵量显著提高,而使以浙852为寄主的褐飞虱若虫存活率显著提高^[12]。赵伟春等^[27]的研究表明,褐飞虱危害水稻品种秀水11,使稻株中与水稻品种对白背飞虱的抗性显著相关的丙氨酸和亮氨酸含量明显上升,通常这两种氨基酸含量较高的品种对白背飞虱更为敏感^[28]。赵伟春等^[27]的研究也表明,褐飞虱危害水稻品种浙852后,稻株中蛋氨酸和酪氨酸的含量分别下降6.54%和10.05%;而经白背飞虱取食后,蛋氨酸和酪氨酸分别上升12.25%和12.44%。同时,丁锦华等^[29]的研究结果表明,无论哪种虫态的褐飞虱蜜露中均不含有蛋氨酸和酪氨酸,褐飞虱完全吸收了从稻株汁液中所获得的蛋氨酸和酪氨酸,认为蛋氨酸是褐飞虱生长必需的氨基酸之一。这表明当两种飞虱共存时,它们各自吸收自己所需的养分,而又诱导水稻养分游离氨基酸成分产生一些有利于共存种生长发育的变化,从而对共存种的生长发育产生有利的促进作用可能是两种植食者共存产生有利协同作用的一种营养机理。但是,鉴于植食者诱导而引起其它植食者与植物关系变化的机制是复杂的^[3-4],灰飞虱与褐飞虱共存促进作用的生理生化和分子机理尚需深入研究。

致谢:湖南农业大学动植物检疫专业2005级学生李水泉和易爽参加了部分研究工作,特此致谢。

References:

- [1] Denno R F, McClure M S, Ott J R. Interspecific interactions in phytophagous insects-competition reexamined and resurrected. *Annual Review of Entomology*, 1995, 40: 297-331.
- [2] Lawton J H, Strong D R Jr. Community patterns and competition in folivorous insects. *The American Naturalist*, 1981, 118(3): 317-338.
- [3] Denno R F, Kaplan I. Plant-mediated interactions in herbivorous insects: mechanisms, symmetry, and challenging the paradigms of competition past//Ohgushi T, Craig T P, Price P W, eds. *Ecological Communities: Plant Mediation in Indirect Interaction Webs*. London: Cambridge University Press, 2007: 19-50.
- [4] Awmack C S, Leather S R. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 2002, 47(1): 817-844.
- [5] Bruno J F, Stachowicz J J, Bertness M D. Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends in Ecology and Evolution*, 2003, 18(3): 119-125.
- [6] Cheng J A, Zhu J L, Zhu Z R, Zhang L G. Rice planthopper outbreak and environment regulation. *Journal of Environmental Entomology*, 2008, 30(2): 176-182.
- [7] Gu B L, Xue P X, Shi W X, Zhou L H. Observation on rice spikes infected by *Laodelphax striatellus* and rice yield loss. *China Plant Protection*, 2005, 25(5): 7-8.
- [8] Wang H D, Zhu J L, Zhu L M, Lu Q, Wang J L. Estimating damages by *Laodelphax striatellus* and its economic threshold levels at rice spike

- stage. China Plant Protection, 2007, 27(4): 17-20.
- [9] Cheng J A. Rice planthopper problems and relevant causes in China // Heong K L, Hardy B, eds. In Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia. Los Baños; International Rice Research Institute, 2009: 157-178.
- [10] Ma J F, Hu G W, Cheng J A. The density-dependent effects of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horvath) (Homoptera: Delphacidae) on their population performances. Entomological Journal of East China, 1996, 5(1): 82-88.
- [11] Wang R F, Cheng X N, Luo Y J, Zou Y D. Interactions between *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* in their commensality. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(4): 391-395.
- [12] Cheng J A, Zhao W C, Lou Y G, Zhu Z R. Intra-and inter-specific effects of the brown planthopper and white backed planthopper on their population performance. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2001, 4(1): 85-92.
- [13] Matsumura M, Suzuki Y. Direct and feeding-induced interactions between two rice planthoppers, *Sogatella furcifera* and *Nilaparvata lugens*: effects on dispersal capability and performance. Ecological Entomology, 2003, 28(2): 174-182.
- [14] Hua C, Wang R L, Liu Y L. Effects of exogenous glutathione on active oxygen scavenging system in chloroplasts of rice under salt stress. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2003, 29(5): 415-420.
- [15] Chen J M, Yu X P, Cheng J A. Evaluation for tolerance characteristics of different rice varieties to brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stål). Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(5): 795-801.
- [16] Liu F, Song Y, Bao S W, Lu H Y, Zhu S D, Liang G H. Resistance to small brown planthopper and its mechanism in rice varieties. Acta Phytomorphologica Sinica, 2007, 34(5): 449-454.
- [17] Liu X D, Zhai B P, Hu Z Q. Effects of rice type and temperature on the population of the rice small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*. Chinese Bulletin of Entomology, 2007, 44(3): 348-352.
- [18] Tang Q Y, Feng M G. DPS Data Processing System-Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining. Beijing: Science Press, 2009.
- [19] Wang E G. A study on the population fluctuation and the forecasting models of *Laodelphax striatellus* in rice fields. Plant Protection, 2007, 33(3): 102-107.
- [20] Agrawal A A, Sherriffs M F. Induced plant resistance and susceptibility to late-season herbivores of wild radish. Annals of the Entomological Society of America, 2001, 94(1): 71-75.
- [21] Liu G J, Fu Z H, Shen J H, Zhang Y H. Comparative study on evaluation methods for resistance to rice planthoppers (Homoptera: Delphacidae) in rice. Chinese Journal of Rice Science, 2002, 16(1): 52-56.
- [22] Yu X P, Wu G R, Tao L Y. Evaluation of screening techniques of rice varieties resistance to planthopper. Entomological Knowledge, 1991, 28(1): 59-62.
- [23] Lou Y G, Cheng J A. Induced plant resistance to phytophagous insects. Acta Entomologica Sinica, 1997, 40(3): 320-331.
- [24] Lou Y G, Cheng J A. Interactions among host plants, phytophagous insects and natural enemies and relevant research methods. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(3): 325-331.
- [25] Wheeler D. The role of nourishment in oogenesis. Annual Review of Entomology, 1996, 41(1): 407-431.
- [26] Zhang Z Q, Gu J Y. The nutritive effect of some amino acids in rice plants on the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). Acta Entomologica Sinica, 1985, 28(1): 15-21.
- [27] Zhao W C, Cheng J A, Lou Y G, Shao W B. On the selectivities of *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horvath) for rice plants fed by identical or alternative planthopper species in advance. Journal of Plant Protection, 2000, 27(3): 193-198.
- [28] Yu X P, Wu G R, Hu C. The rice varietal resistance to whitebacked planthopper (*Sogatella furcifera*) and the relationship between the nutrients in rice-plants and the varietal resistance. Chinese Journal of Rice Science, 1989, 3(2): 56-61.
- [29] Ding J H, Du J. Utilization of free amino acids of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). Entomological Knowledge, 1990, 27(2): 65-67.

参考文献:

- [6] 程家安, 朱金良, 祝增荣, 章连观. 稻田飞虱灾变与环境调控. 环境昆虫学报, 2008, 30(2): 176-182.
- [7] 顾伯良, 薛萍霞, 施文贤, 周丽花. 水稻灰飞虱转移穗部为害及其对产量损失的观察. 中国植保导刊, 2005, 25(5): 7-8.
- [8] 王华弟, 朱金良, 朱黎明, 陆强, 王金良. 水稻穗期灰飞虱为害损失测定与防治指标研究. 中国植保导刊, 2007, 27(4): 17-20.
- [10] 马巨法, 胡国文, 程家安. 褐飞虱、白背飞虱种间、种内密度制约效应研究. 华东昆虫学报, 1996, 5(1): 82-88.
- [11] 王荣富, 程遐年, 罗跃进, 邹运鼎. 褐飞虱与白背飞虱共栖时的互作效应. 应用生态学报, 1997, 8(4): 391-395.
- [14] 华春, 王仁雷, 刘友良. 外源 GSH 对盐胁迫下水稻叶绿体活性氧清除系统的影响. 植物生理与分子生物学学报, 2003, 29(5): 415-420.
- [15] 陈建明, 俞晓平, 程家安. 不同水稻品种对褐飞虱的耐虫特性研究. 作物学报, 2009, 35(5): 795-801.
- [16] 刘芳, 宋英, 包善微, 卢海燕, 祝树德, 梁国华. 水稻品种对灰飞虱的抗性及其机制. 植物保护学报, 2007, 34(5): 449-454.
- [17] 刘向东, 翟保平, 胡自强. 高温及水稻类型对灰飞虱种群的影响. 昆虫知识, 2007, 44(3): 348-352.
- [18] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统-实验设计、统计分析 & 数据挖掘. 北京: 科学出版社, 2009.
- [19] 汪恩国. 灰飞虱种群数量变动规律与模型测报技术研究. 植物保护, 2007, 33(3): 102-107.
- [21] 刘光杰, 付志红, 沈君辉, 张亚辉. 水稻品种对稻飞虱抗性鉴定方法的比较研究. 中国水稻科学, 2002, 16(1): 52-56.
- [22] 俞晓平, 巫国瑞, 陶林勇. 水稻品种抗稻飞虱筛选技术的评价. 昆虫知识, 1991, 28(1): 59-62.
- [23] 娄永根, 程家安. 植物的诱导抗性. 昆虫学报, 1997, 40(3): 320-331.
- [24] 娄永根, 程家安. 植物—植食性昆虫—天敌三营养层次的相互作用及其研究方法. 应用生态学报, 1997, 8(3): 325-331.
- [26] 张增全, 顾金炎. 褐稻虱饲料稻株中数种氨基酸的营养效应. 昆虫学报, 1985, 28(1): 15-21.
- [27] 赵伟春, 程家安, 娄永根, 邵伟斌. 褐飞虱和白背飞虱对不同飞虱取食后稻株的选择性. 植物保护学报, 2000, 27(3): 193-198.
- [28] 俞晓平, 巫国瑞, 胡萃. 水稻品种对白背飞虱的抗性及其与稻株营养成分的关系. 中国水稻科学, 1989, 3(2): 56-61.
- [29] 丁锦华, 都健. 褐飞虱对游离氨基酸的利用. 昆虫知识, 1990, 27(2): 65-67.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.31, No. 16 August, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

A comparative study on the diversity of rhizospheric bacteria community structure in constructed wetland and natural wetland with reed domination	WANG Zhongqiong, WANG Weidong, ZHU Guibing, et al (4489)
Light response of photosynthesis and its simulation in leaves of <i>Prunus sibirica</i> L. under different soil water conditions	LANG Ying, ZHANG Guangcan, ZHANG Zhengkun, et al (4499)
Effects of colour shading on the yield and main biochemical components of summer-autumn tea and spring tea in a hilly tea field	QIN Zhimin, FU Xiaoqing, XIAO Runlin, et al (4509)
Effects of cadmium on the contents of phytohormones, photosynthetic performance and fluorescent characteristics in tobacco leaves	WU Kun, WU Zhonghong, TAI Fujun, et al (4517)
Comparative physiological responses of cadmium stress on <i>Enteromorpha clathrata</i> and <i>Enteromorpha linza</i>	JIANG Heping, ZHENG Qingsong, ZHU Ming, et al (4525)
Effects of salt stress on glucosinolate contents in <i>Arabidopsis thaliana</i> and <i>Thellungiella halophila</i> rosette leaves	PANG Qiuying, CHEN Sixue, YU Tao, et al (4534)
Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field	GAO Jusheng, CAO Weidong, LI Dongchu, et al (4542)
Nitrogen balance in the farmland system based on water balance in Hetao irrigation district, Inner Mongolia	DU Jun, YANG Peiling, LI Yunkai, et al (4549)
Seed characteristics and seedling growth of <i>Spartina alterniflora</i> on coastal wetland of North Jiangsu	XU Weiwei, WANG Guoxiang, LIU Jin'e, et al (4560)
Assessment of non-point source pollution export from Zigui county in the Three Gorges Reservoir area using the AnnAGNPS model	TIAN Yaowu, HUANG Zhilin, XIAO Wenfa (4568)
Effects of Cadmium pollution on oxidative stress and metallothionein content in <i>Pirata subpiraticus</i> (Araneae: Lycosidae) in different habitats	ZHANG Zhengtian, PANG Zhenling, XIA Min, et al (4579)
The distribution of size-fractionated chlorophyll a in the Indian Ocean South Equatorial Current	ZHOU Yadong, WANG Chunsheng, WANG Xiaogu, et al (4586)
Change of waterbird community structure after the intertidal mudflat reclamation in the Yangtze River Mouth: a case study of NanHui Dongtan area	ZHANG Bin, YUAN Xiao, PEI Enle, et al (4599)
Application of fish assemblage integrity index (FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary	MAO Chengze, ZHONG Junsheng, JIANG Rijin, et al (4609)
Population age structure of Antarctic krill <i>Euphausia superba</i> off the northern Antarctic Peninsula based on fishery survey	ZHU Guoping, WU Qiang, FENG Chunlei, et al (4620)
Validation and adaptability evaluation of rice growth model ORYZA2000 in double cropping rice area of Hunan Province	MO Zhihong, FENG Liping, ZOU Haiping, et al (4628)
Coupled energy and carbon balance analysis under dryland tillage systems	WANG Xiaobin, WANG Yan, DAI Kuai, et al (4638)
The nitrate-nitrogen leaching amount in paddy winter-spring fallow period	WANG Yongsheng, YANG Shiqi (4653)
The sources of organic carbon and nitrogen in sediment of Taihu Lake	NI Zhaoxui, LI Yuejin, WANG Shengrui, et al (4661)
Effect of partial solar eclipse on airborne culturable bacterial community in Urumqi	MA Jing, SUN Jian, ZHANG Tao, et al (4671)
Comparative study on density related intra- and inter-specific effects in <i>Laodelphax striatellus</i> (Fallen) and <i>Nilaparvata lugens</i> (Stål)	LÜ Jin, CAO Tingting, WANG Liping, et al (4680)
Behavior rhythm and seasonal variation of time budget of sun bear (<i>Helarctos malayanus</i>) in captivity	LAN Cunzi, LIU Zhensheng, WANG Aishan, et al (4689)
Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River	HAN Lu, WANG Haizhen, CHEN Jiali, et al (4699)
Death causes and conservation strategies of the annual regenerated seedlings of rare plant, <i>Bretschneidera sinensis</i>	QIAO Qi, QIN Xinsong, XING Fuwu, et al (4709)
Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress	DUO Lian, WANG Jingjing, ZHAO Shulan (4717)
Spatiotemporal relationship of leaf area index simulated by CLM3.0-DGVM and climatic factors	SHAO Pu, ZENG Xiaodong (4725)
Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency	HAN Ruiling, TONG Lianjun, SONG Yanan (4732)
Review and Monograph	
The fungal to bacterial ratio in soil food webs, and its measurement	CAO Zhiping, LI Depeng, HAN Xuemei (4741)
Indicators for evaluating sustainable communities: a review	ZHOU Chuanbin, DAI Xin, WANG Rusong, et al (4749)
Discussion	
Differential expression of <i>PAL</i> multigene family in allelopathic rice and its counterpart exposed to stressful conditions	FANG Changxun, WANG Qingshui, YU Yan, et al (4760)
Scientific Note	
Ecology study on the benthic animals of QinZhou Bay	WANG Di, CHEN Pimao, MA Yuan (4768)
Change characteristics of soil carbon and nitrogen contents in the Yellow River Delta soil after artificial restoration	DONG Kaikai, WANG Hui, YANG Liyuan, et al (4778)
Estimation and spatial pattern analysis of forest biomass in Fenglin Nature Reserve based on Geostatistics	LIU Xiaomei, BU Rencang, DENG Huawei, et al (4783)
Study on sap flow in forest of <i>Quercus liaotungensis</i> and <i>Populus davidiana</i> by using the TDP method	SUI Xuhong, ZHANG Jianjun, WEN Wanrong (4791)
N ₂ O Emission and its driving factors from typical marsh and shrub swamp in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	SHI Lanying, MU Changcheng, TIAN Xinmin, et al (4799)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 16 期 (2011 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 16 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元