

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2022.04.007

基于两性生命表的 3 种水稻材料对白背飞虱 生长发育与繁殖的影响

刘冲^{1,3}, 陶文彩¹, 邓晓悦¹,
李庆¹, 刘怀年², 蒋春先¹

1. 四川农业大学 农学院, 成都 611130;

2. 四川农业大学 水稻研究所, 成都 611130;

3. 四川省成都市新朝阳作物科学股份有限公司, 成都 611630

摘 要: 本文利用两性生命表技术开展了 3 种水稻材料对白背飞虱生长发育及繁殖的影响研究。结果表明, 相较于感虫材料“TN1”, 抗虫材料“79-1163”和“S1022”显著影响白背飞虱发育历期和成虫寿命, 其中, “79-1163”显著延长白背飞虱成虫前期, “S1022”和“79-1163”显著降低成虫寿命。取食 79-1633 的白背飞虱若虫存活率、繁殖值、内禀增长率、周限增长率、净增殖率等均显著低于“TN1”, 也低于“S1022”。3 种材料饲喂的白背飞虱多发育为长翅型。除“79-1163”饲喂的白背飞虱性比小于 1 外, 其余两种材料均大于 1。本研究表明, 水稻材料“79-1633”与“S1022”对白背飞虱均表现出抗生性, “79-1633”抗生性较“S1022”更明显, 研究结果为解析白背飞虱的抗性机理、挖掘抗性基因具有重要意义。

关 键 词: 水稻; 白背飞虱; 抗虫性; 生长发育;

繁殖; 两性生命表

中图分类号: S435.112⁺.3

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2022)04-0052-08

Effect of Three Rice Materials on the Growth, Development and Fecundity of White-Backed Planthopper *Sogatella furcifera* Based on the Two-Sex Life Table

LIU Chong^{1, 3}, TAO Wencai¹, DENG Xiaoyue¹,
LI Qing¹, LIU Huainian², JIANG Chunxian¹

收稿日期: 2022-05-01

基金项目: 四川省科技计划项目(2021YFYZ0021)。

作者简介: 刘冲, 硕士, 主要从事水稻抗虫性研究。

通信作者: 蒋春先, 博士, 副教授。

1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

2. Rice Research Institute of Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

3. Chengdu NewSun Crop Science Co. Ltd, Chengdu 611630, China

Abstract: In this paper, the effect of three rice materials on the growth, development and fecundity of white-backed planthopper was studied based on the Two-sex life table technique. The results showed that compared with the insect-susceptible material ‘TN1’, the insect-resistant material ‘79-1163’ and ‘S1022’ significantly affected the development duration and adult life span of white-backed planthopper. ‘79-1163’ significantly prolonged the pre-adult stage, and ‘S1022’ and ‘79-1163’ significantly reduced the adult life span. The nymph survival rate, fecundity, intrinsic increase rate, finite increase rate, and net reproductive rate of white-backed planthopper fed on ‘79-1163’ were significantly lower than those of on ‘TN1’, also ‘S1022’. The white-backed planthopper fed on the three materials mostly developed into long-winged type. The sex ratio of white-backed planthopper fed on ‘TN1’ and ‘S1022’ were higher than 1, except for ‘79-1163’. Both rice materials ‘79-1163’ and ‘S1022’ showed antibiotic resistance to white-backed planthopper, and ‘79-1163’ showed more obvious antibiotic resistance than ‘S1022’. The results are of great significance for the analysis of resistance mechanism to white back planthopper and discovery of resistance genes in rice.

Key words: rice; *Sogatella furcifera*; insect resistance; growth and development; fecundity; two-sex life table

白背飞虱(*Sogatella furcifera*)属半翅目飞虱科,是我国水稻重要的迁飞性害虫之一。其成虫、若虫可在水稻整个生育期吸食稻株汁液,严重时会造成死秆倒伏,在为害水稻的同时还能传播南方水稻黑条矮缩病毒(southern rice black-streaked dwarf disease, SRBSD),造成水稻大幅减产甚至绝收^[1-2]。近年来,白背飞虱在我国发生频率和发生面积大幅增加,严重威胁我国水稻生产。选用抗虫性品种是白背飞虱有效且经济的防治方法,然而抗虫性品种存在抗性丧失的潜在风险,故筛选新的抗性材料、探索抗虫性机制、挖掘抗性基因、选育抗虫性品种对白背飞虱防控具有重要意义。目前,白背飞虱抗性材料筛选及抗性机理研究与水稻抗褐飞虱研究相比略显不足^[3]。

植物对害虫的抗虫性机制分为忌避性、抗生素性和耐害性等^[4],其中抗生素性是指植物不排斥昆虫取食、产卵和栖息,但会对其生长发育和繁殖产生不利影响,取食后可引起昆虫发育不良、生长发育延缓、生殖力下降、死亡率增高等^[5]。抗生素性是研究水稻抗稻飞虱抗性机制的标准之一,一般通过取食量、取食频率、蜜露成分分析、发育历期等生物学数据对抗性材料的抗生素性机理进行初步研究^[6]。种群参数可直接反映寄主植物与昆虫繁殖和生存能力的关系,在作物抗虫性研究中常作为抗生素性评价的指标。生命表技术是研究种群生态学的重要工具,在植物抗虫性评价^[7-8]和天敌昆虫控害能力^[9-10]中得到广泛应用。

本研究通过组建年龄-阶段两性生命表对前期筛选获得的水稻抗虫材料对白背飞虱生长发育和繁殖的影响进行研究,以期为进一步研究抗虫材料的抗生素性机理,挖掘相关抗性基因,培育抗性品种奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试水稻品种为籼型常规稻“79-1163”和籼型常规稻“S1022”,均由四川农业大学水稻研究

所提供. 籼型常规稻“79-1163”经苗期抗白背飞虱鉴定为中抗, 在田间成株期抗性鉴定为抗. 粳型常规稻“S1022”经苗期抗白背飞虱鉴定为中抗, 在田间成株期抗性鉴定为中抗. 感虫材料“TN1”由四川农业大学农业昆虫与害虫防治实验室提供.

白背飞虱由四川农业大学农业昆虫与害虫防治实验室提供, 室内以感虫水稻“TN1”连续饲养多代.

1.2 试验方法

试验在温度 $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$, 相对湿度 $(70 \pm 10)\%$, 光周期 14 h/10 h(L/D)恒温养虫室内进行. 将苗龄 20 d 左右的水稻单株置于试管中, 稻苗根部用脱脂棉包裹, 加入适量 Espion 营养液湿润脱脂棉. 已交配白背飞虱雌成虫分别置于供试水稻材料“79-1163”“S1022”“TN1”稻苗上产卵 24 h, 待若虫孵化后, 记录孵化时间. 将不同水稻材料孵化的初孵若虫放入对应水稻材料的试管中单头饲养, 每 24 h 观察一次若虫发育情况(若稻苗萎蔫则更换新的稻苗), 记录若虫蜕皮、死亡情况. 成虫羽化后, 记录成虫翅型及性别, 将同一水稻材料同日羽化的雌成虫与雄虫单头配对, 并更换新鲜稻苗, 每 24 h 观察一次成虫死亡情况, 记录若虫孵化数, 直至成虫死亡.

由于白背飞虱产卵于稻茎内, 除观察每日若虫孵化数外, 如连续 3 天无若虫孵出则将稻苗取出于体视显微镜下剖苗统计未孵化卵数, 成虫产卵数为孵化出的若虫数与未孵化卵数之和. 每种水稻材料重复 40 次. 为避免雌雄虫发育历期差异造成个别成虫无法配对, 需设置对应材料的备份.

1.3 数据处理

按照年龄-阶段两性生命表理论的统计方法记录原始数据, 组建白背飞虱实验室种群两性生命表^[11]. 使用 TWOSEX-MSChart 程序计算 Sx_j (特定年龄-阶段存活率, 即虫体从卵发育到年龄 x 、阶段 j 的概率), lx (特定年龄存活率, 即个体从卵发育到年龄 x 的存活率), mx (特定年龄繁殖力, 即种群中年龄 x 的所有个体单位时间的平均产卵量), fx_j (雌虫年龄-阶段繁殖力, 即雌成虫在年龄 x 、阶段 j 时的产卵数量, 本试验雌虫年龄-阶段繁殖力为 fx_7 , 因为白背飞虱从卵发育至成虫共经历 7 个阶段), $lxmx$ (种群特定年龄繁殖值, 即种群在年龄 x 的净繁殖力), ex_j (特定年龄-阶段寿命期望值, 即年龄为 x , 阶段为 j 的个体能够继续存活的天数), vx_j (繁殖价值, 即在年龄 x 阶段 j 的个体对未来种群的贡献价值), R_0 (净增殖率, 即每个虫体一生中所繁殖的后代总数), rm (内禀增长率, 即种群的最大瞬时增长率), T (世代平均周期, 即该种群整体达到稳定增长速率时, 增加 R_0 所消耗的时间), λ (周限增长率, 即种群内平均每一个个体能产生的后代数).

利用 Sigmaplot 12.3 作图, 通过 TWOSEX-MSChart 中的 bootstrap 可求得各项参数的平均值和标准误, 参数之间差异的统计学分析则在 Paired bootstrap test 中运行($p < 0.05$).

2 结果与分析

2.1 3 种水稻材料对白背飞虱发育历期及寿命的影响

试验结果看出, 3 种水稻材料在发育历期、寿命及产卵量方面存在差异. “79-1163”卵期最长, 显著长于“TN1”, 但与 S1022 差异无统计学意义. “TN1”成虫前期最短, 显著低于抗虫材料“79-1163”, 3 种材料的成虫历期及产卵前期之前差异无统计学意义. “TN1”饲喂白背飞虱成虫寿命为 31.36 d, 显著长于“S1022”和“79-1163”, 且 S1022 和 79-1163 饲喂的成虫寿命差异无统计学意义. “TN1”饲喂白背飞虱成虫单雌产卵量为 39.53 粒, 显著多于“S1022”和“79-1163”(表 1). 以上说明, 抗虫材料影响白背飞虱的发育历期, 显著降低成虫寿命和产卵量.

表 1 白背飞虱在 3 种水稻材料上的发育历期、寿命以及产卵量

指标	“TN1”	“S1022”	“79-1163”
卵期/d	7.03±0.67b	7.22±0.1ab	7.42±0.1a
1 龄历期/d	2.44±0.09a	2.26±0.15a	2.55±0.9a
2 龄历期/d	2.64±0.09b	2.59±0.25ab	3.04±0.1a
3 龄历期/d	2.97±0.15a	3.02±0.15a	3.08±0.16a
4 龄历期/d	3.19±0.18b	3.62±0.25ab	3.92±0.23a
5 龄历期/d	5.5±0.23b	5.66±0.44ab	6.32±0.2a
成虫前期/d	23.7±0.41b	24.07±0.62b	26.03±0.46a
成虫历期/d	11.41±0.1a	10.95±0.95a	9.47±0.59a
产卵前期/d	3.5±0.26a	3.14±0.28a	5.83±1.86a
寿命/d	31.36±1.47a	26.91±1.67b	27.26±1.42b
单雌产卵量/粒	39.53±5.94a	19.92±4.51b	7.71±7.06b

注：表中小写字母不同表示同一行中不同处理差异有统计学意义($p<0.05$)

2.2 3 种水稻材料对白背飞虱存活率和繁殖的影响

由于不同个体间发育速率存在差异，3 种水稻材料饲喂的白背飞虱生长曲线均存在大量重叠. 感虫材料“TN1”饲喂的白背飞虱若虫存活率最高，达到 80%；抗虫材料“79-1163”与“S1022”饲喂的白背飞虱若虫存活率分别在 47%和 55%。“79-1163”饲喂的白背飞虱雄成虫特定年龄一阶段存活率(S_{xj})高于雌成虫；“TN1”和“S1022”则相反，为雌成虫高于雄成虫(图 1).

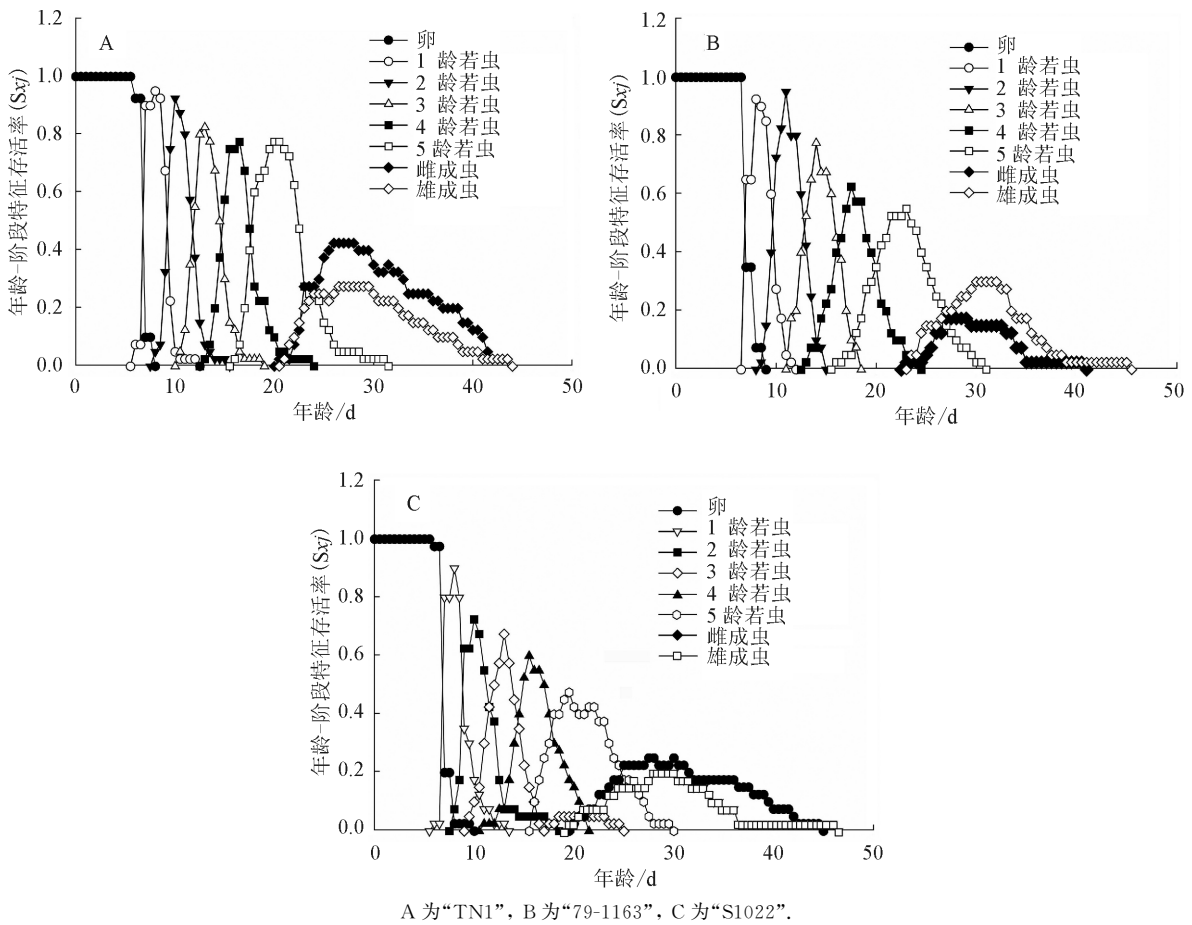
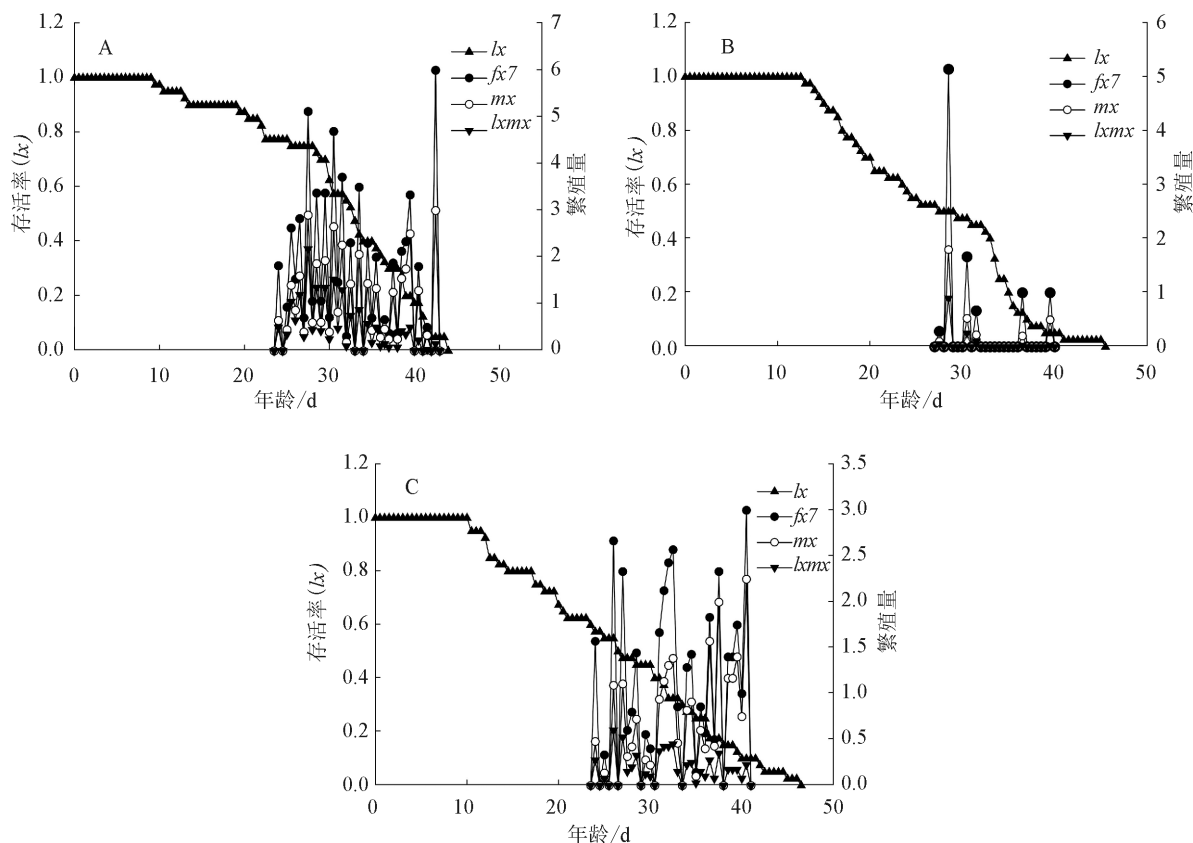


图 1 3 种水稻材料对白背飞虱特定年龄-阶段存活率(S_{xj})的影响

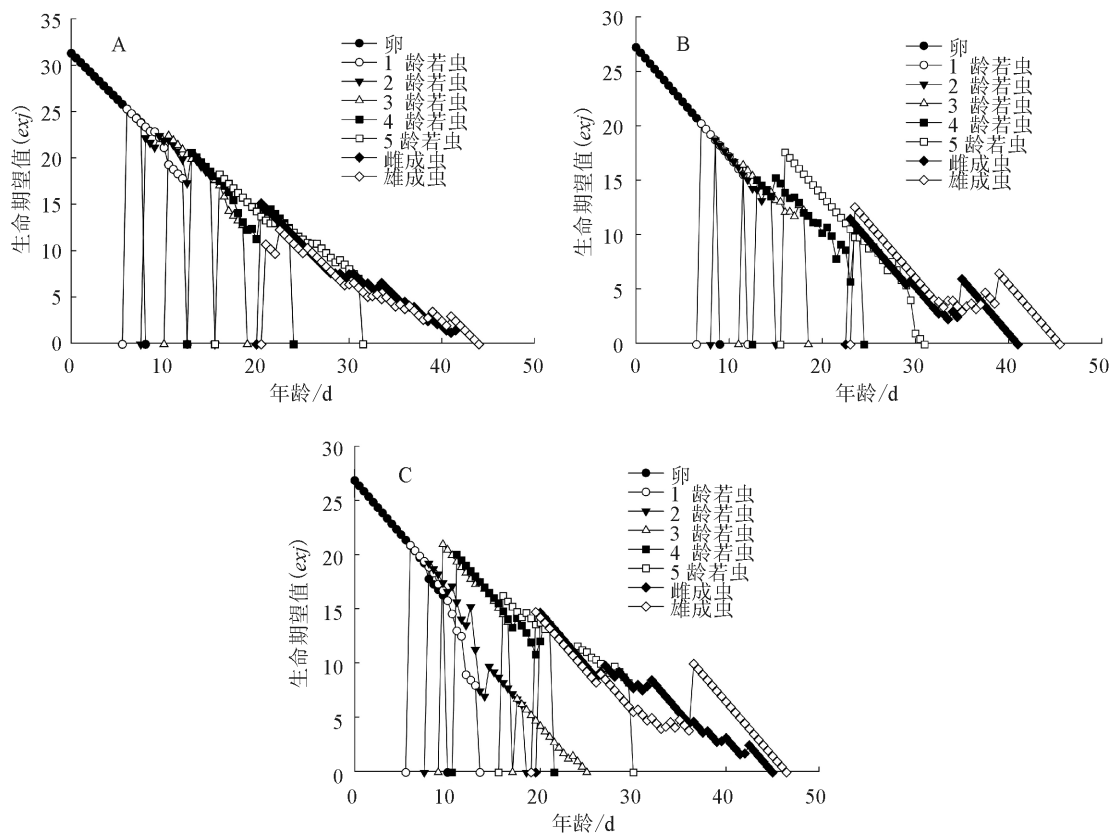
雌虫种群特定年龄存活率 lx 结果显示(图 2), 感虫水稻“TN1”饲喂的白背飞虱 lx 曲线呈阶梯式下降, 在 28 d 下降至 72%, 之后迅速下降为 0%; “79-1163”和“S1022”的“ lx ”曲线下降较为平缓. “TN1”饲喂的白背飞虱雌虫年龄-阶段繁殖力($fx7$)总体呈现增长后降低、再增长的趋势, 并在 43 d 繁殖力达到最高值; “79-1163”年龄-阶段繁殖力($fx7$)波动较大, 增长后持续降低, 在 29 d 达到最高值; “S1022”变化趋势与“TN1”相似, 繁殖力高峰在 41 d. “TN1”与“S1022”饲喂的白背飞虱特定年龄繁殖力(mx)和种群特定年龄繁殖值($lxmx$)均高于“79-1163”.



A 为“TN1”, B 为“79-1163”, C 为“S1022”.

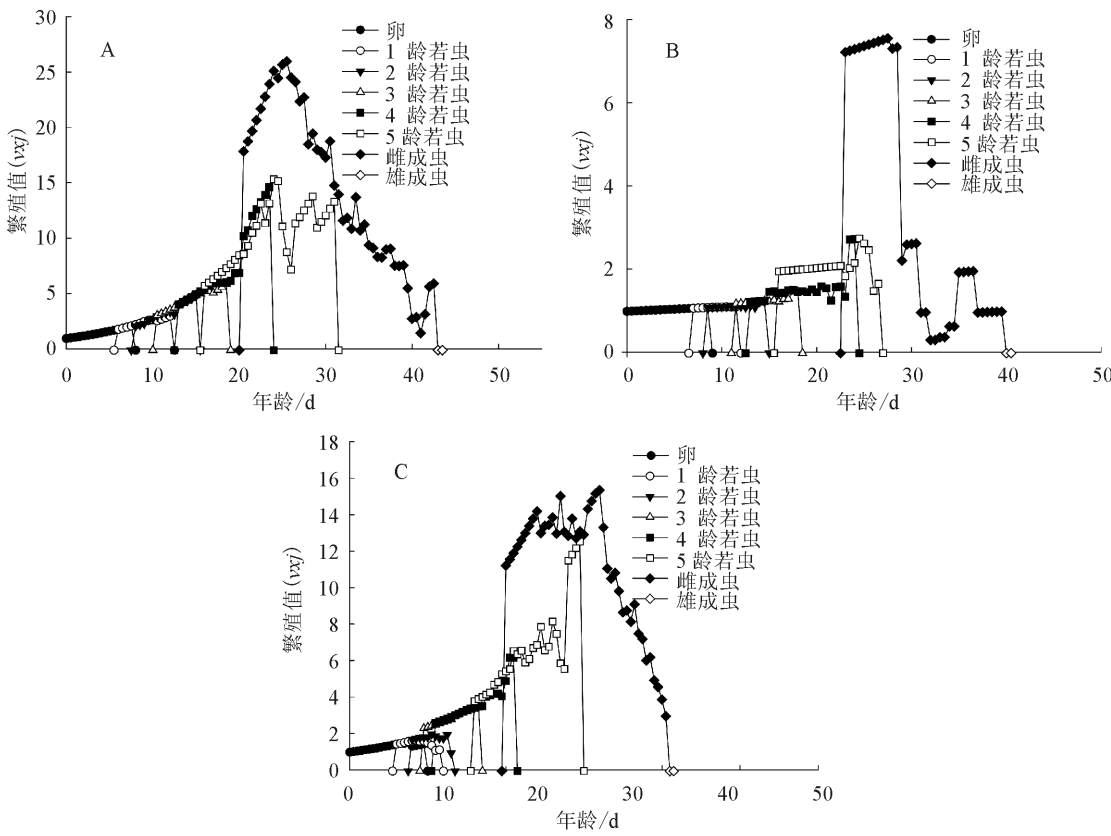
图 2 3 种水稻材料对白背飞虱雌虫特定年龄存活率(lx)、雌虫年龄-阶段繁殖力($fx7$)、特定年龄繁殖力(mx)和种群特定年龄繁殖值($lxmx$)的影响

3 种水稻材料饲喂的白背飞虱种群寿命期望值(exj)随年龄(x)和阶段(j)的增加而下降, 寿命期望值最高均出现在卵期, 其中“TN1”饲喂的白背飞虱寿命期望值最高, 为 31.36 d. 取食“79-1163”雄成虫寿命期望高于雌成虫, 但“TN1”与“S1022”饲喂的雌成虫与雄成虫寿命期望接近(图 3). “TN1”饲喂的白背飞虱年龄-阶段特定生殖能力(vxj)在 25 d 达到最高值, 为 26.02 粒; “79-1163”在 28 d 达到最高值, 为 7.35 粒; “S1022”在 32 d 达到最高值, 为 15.39 粒(图 4).



A 为“TN1”, B 为“79-1163”, C 为“S1022”.

图 3 3 种水稻材料对白背飞虱寿命期望(exj)的影响



A 为“TN1”, B 为“79-1163”, C 为“S1022”.

图 4 3 种水稻材料对白背飞虱繁殖值(vxj)的影响

2.3 3 种水稻材料对白背飞虱生命表参数的影响

3 种材料饲喂的白背飞虱生命表参数存在差异. 其中“S1022”“79-1163”饲喂的白背飞虱内禀增长率(rm)、周限增长率(λ)、净增殖率(R_0)显著低于“TN1”, 但世代平均周期(T)差异无统计学意义. “79-1163”饲喂的白背飞虱净增殖率(R_0)显著低于“S1022”, 但内禀增长率(rm)和周限增长率(λ)均表现为差异无统计学意义(表 2).

表 2 3 种水稻材料对白背飞虱生命表参数的影响

水稻材料	内禀增长率(rm)	周限增长率(λ)	净增殖率(R_0)	世代平均周期(T)
“TN1”	$0.1 \pm 0.01a$	$1.1 \pm 0.01a$	$18.78 \pm 4.15a$	$30.23 \pm 0.76a$
“S1022”	$0.06 \pm 0.01b$	$1.06 \pm 0.01b$	$6.475 \pm 2.04b$	$31.81 \pm 1.23a$
“79-1163”	$0.01 \pm 0.05b$	$1.01 \pm 0.04b$	$1.35 \pm 1.21c$	$29.89 \pm 2.9a$

注: 表中小写字母不同表示同一列中不同处理差异显著($p < 0.05$)

2.4 3 种水稻材料对白背飞虱翅型分化与性比的影响

在单头饲喂的情况下, “TN1”“S1022”和“79-1163”长翅型白背飞虱的比例分别为 87.5%, 100%, 94.74%; 其中白背飞虱雄虫均为长翅型, 雌虫以长翅为主. 雌雄性比分别达到 1.46 : 1, 1.44 : 1, 0.58 : 1. “TN1”饲喂的白背飞虱性比与“S1022”接近, 雌性多于雄性; 但“79-1163”性比小于 1, 雄性多于雌性(表 3).

表 3 3 种水稻材料饲喂白背飞虱的翅型及雌雄比

性别	“TN1”			“S1022”			“79-1163”		
	长翅型	短翅型	雌雄比	长翅型	短翅型	雌雄比	长翅型	短翅型	雌雄比
雌虫	15	4	1.46 : 1	13	—	1.44 : 1	6	1	0.58 : 1
雄虫	13	—		9	—		12	—	

3 结论与讨论

水稻抗虫性利用是防治白背飞虱经济有效的防治方法, 水稻抗白背飞虱抗虫性鉴定及抗性机理研究是培育抗白背飞虱水稻的基础. 本文运用两性生命表技术研究发现, 前期筛选获得的抗虫水稻材料“S1022”与“79-1163”对白背飞虱发育历期具有显著影响, 存活率、成虫寿命及繁殖力等具有显著影响, 表现出明显的抗生性. 取食“79-1163”的白背飞虱成虫前期显著长于“TN1”和“S1022”, 而成虫历期和产卵前期等差异无统计学意义, 表明“79-1163”对白背飞虱生长发育历期的影响主要在若虫期. 唐健等^[12]分析了 27 个水稻品种对白背飞虱的抗性, 认为若虫存活率是衡量品种抗性的一个重要指标; 程正新等^[13]研究也表明抗性水稻品种将降低白背飞虱取食量; 王梁全等^[14]发现表征褐飞虱取食量的蜜露分泌量与品种的抗性水平负相关. 本研究中抗虫材料“79-1163”和“S1022”与“TN1”相比, 白背飞虱若虫存活率分别降低了 33% 和 25%, 推测白背飞虱在抗性材料上的取食量减少可能是导致抗虫材料白背飞虱存活率降低的主要原因.

本研究中也发现两份抗虫水稻材料对白背飞虱生殖力均较感虫材料“TN1”显著降低, 并且“79-1163”显著低于“S1022”. 刘芳等^[5]发现抗性水稻品种不仅会影响白背飞虱取食; 还会对其产卵选择性和产卵量造成影响; 陈桂华等^[15]研究表明抗性品种上的飞虱产卵量明显减少, 与本试验结果相似. 但也有学者认为稻飞虱在感虫和抗虫水稻上产卵数基本一致^[16], 这可能是由于

研究材料的差异导致的. 本研究结果表明, 取食“79-1633”和“S1022”的白背飞虱内禀增长率、周限增长率、净增殖率均显著低于取食“TN1”的白背飞虱, 且“79-1633”小于“S1022”. 说明“79-1633”和“S1022”与“TN1”相比在一定程度上遏制了白背飞虱种群的增长, 并且“79-1633”的抑制作用更强.

董亚强等^[17]发现是室内单头饲养白背飞虱雌虫多为长翅型; 雄虫几乎均为长翅型, 胡国文等^[18]发现田间雌成虫远远高于雄成虫且短翅型雄虫极为少见. 本研究中水稻“S1022”饲喂的白背飞虱雌雄性比接近感虫“TN1”, 但“79-1163”的雌雄性比为 0.58 : 1, 性别差异较大可能与若虫存活率低有关.

本研究表明, “79-1633”与“S1022”对白背飞虱的抗性均表现出抗性, “79-1633”的抗性较“S1022”更明显, 两者均可作为抗白背飞虱的种质资源, 值得进一步研究其抗性机理以及挖掘相关抗性基因.

参考文献:

- [1] ZHOU G H, WEN J, CAI D J, et al. Southern Rice Black-Streaked Dwarf Virus: a New Proposed Fijivirus Species in the Family Reoviridae [J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(23): 3677-3685.
- [2] 贺鸣, 陈卓, 金林红, 等. 南方水稻黑条矮缩病病毒介体白背飞虱的传毒特性及互作分子机制研究进展 [J]. 中国植保导刊, 2013, 33(11): 22-25.
- [3] YANG L, ZHANG W L. Genetic and Biochemical Mechanisms of Rice Resistance to Planthopper [J]. Plant Cell Reports, 2016, 35(8): 1559-1572.
- [4] 弓少龙, 侯茂林. 水稻对褐飞虱和白背飞虱的抗性及其机制研究进展 [J]. 植物保护, 2017, 43(1): 15-23.
- [5] 刘芳, 戴志一, 胡国文, 等. 不同类型水稻品种对白背飞虱忌避性、抗生性和耐受性的测定 [J]. 中国水稻科学, 1998, 12(3): 189-192.
- [6] 刘光杰, 沈君辉, 寒川一成, 等. 水稻品种抗白背飞虱鉴定的定量指标 [J]. 植物保护学报, 2003, 30(2): 153-160.
- [7] GOLIZADEH A, RAZMJOU J. Life Table Parameters of *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae), Feeding on Tubers of Six Potato Cultivars [J]. Journal of Economic Entomology, 2010, 103(3): 966-972.
- [8] BERNARDI D, GARCIA M S, BOTTON M, et al. Biology and Fertility Life Table of the Green Aphid *Chaetosiphon fragaefolii* on Strawberry Cultivars [J]. Journal of Insect Science, 2012, 12(1): 28.
- [9] 胡昌雄, 范苇, 张倩, 等. 基于两性生命表和年龄-阶段捕食率的南方小花蝽对西花蓟马的控制作用 [J]. 中国农业科学, 2021, 54(13): 2769-2780.
- [10] 蒋春先, 税玲, 蒲颇, 等. 基于两性生命表的以朱砂叶螨为猎物的加州新小绥螨四川种群生长发育、繁殖及捕食率 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(3): 364-373.
- [11] CHI H, YANG T C. Two-Sex Life Table and Predation Rate of *Propylaea japonica* Thunberg (Coleoptera: Coccinellidae) Fed on *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) [J]. Environmental Entomology, 2003, 32(2): 327-333.
- [12] 唐健, 胡国文, 马巨法, 等. 应用主分量分析评价水稻品种对白背飞虱抗性初探 [J]. 中国水稻科学, 1991, 5(3): 142-144.
- [13] 程正新, 黄所生, 吴碧球, 等. 不同水稻品种对白背飞虱取食和产卵选择性的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2016, 38(6): 1084-1089.
- [14] 王梁全, 李兰秀, 陈连举, 等. 几个水稻新品种(系)对褐飞虱的抗性评价 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(20): 253-257.
- [15] 陈桂华, 张发成, 盛仙俏, 等. 水稻品种对褐飞虱的田间抗性及其生态学机制 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(5): 1354-1358.
- [16] KHAN Z R, SAXENA R C. Behavioral and Physiological Responses of *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae) to Selected Resistant and Susceptible Rice Cultivars [J]. Journal of Economic Entomology, 1985, 78(6): 1280-1286.
- [17] 董亚强, 李强, 尤民生, 等. 转 cry1Ab 抗虫水稻对褐飞虱取食及产卵选择行为的影响 [J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2016, 45(3): 252-256.
- [18] 胡国文, 朱明华. 白背飞虱短翅型雄虫的观察 [J]. 昆虫知识, 1981, 18(4): 154-156.