环境昆虫学报 2025，47（5）：1389-1395
Journal of Environmental Entomology
http://hjkcxb.alljournals.net
doi:10.3969/j.issn.1674-0858.2025.05.5

郭嘉雯，庞小轩，鲁艳辉，钱佳宁，徐红星，吕仲贤．盐胁迫对白背飞虱生态适应性的影响[J].环境昆虫学报，2025，47（5）：1389-1395．GUO Jia-Wen, PANG Xiao-Xuan, LU Yan-Hui, QIAN Jia-Ning, XX Hong-Xing, LÜ Zhong-Xian. Effect of salt stress on the ecological adaptability of *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae)[J]. *Journal of Environmental Entomology*，2025，47（5）：1389-1395.

盐胁迫对白背飞虱生态适应性的影响

郭嘉雯，庞小轩，鲁艳辉，钱佳宁，徐红星*，吕仲贤*
（浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所，农产品质量安全全国重点实验室，杭州 310021）

摘要：土壤盐碱化威胁水稻安全生产，盐胁迫作为关键非生物因子，既直接影响水稻，又间接影响稻田重要害虫的种群适应性。本研究通过测定白背飞虱 *Sogatella furcifera* 取食不同浓度 NaCl（0、25 mmol/L、50 mmol/L、75 mmol/L 和 100 mmol/L）处理的水稻，研究了其若虫发育历期、存活率、成虫短翅型比例、雌成虫比例、产卵量、雌成虫寿命、卵发育历期和卵孵化率，评估了盐胁迫对其生态适应性的影响。结果显示，各盐胁迫处理下若虫发育历期与对照无显著差异。若虫存活率随盐浓度升高呈现先降后升再降趋势，25 mmol/L、75 mmol/L 和 100 mmol/L 处理组若虫存活率显著低于对照，50 mmol/L 处理组与对照无显著差异。盐胁迫显著改变成虫翅型分化，75 mmol/L 处理组短翅型比例显著降低，但雌成虫比例未受影响。雌成虫产卵量在 25 mmol/L 和 100 mmol/L 组（分别为（129.40 ± 23.06）粒和（152.31 ± 14.37）粒）显著低于对照[（283.41 ± 32.30）粒]，雌成虫寿命无显著变化。所有盐胁迫处理均显著延长卵发育历期，但卵孵化率无显著差异。本研究阐明了盐胁迫对白背飞虱种群关键生物学参数的调控作用，为盐碱稻区该害虫的精准监测与生态防控策略制定提供了科学依据。

关键词：盐胁迫；白背飞虱；若虫发育；成虫繁殖；卵发育
中图分类号：Q968.1　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-0858（2025）05-1389-07

Effect of salt stress on the ecological adaptability of *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae)

GUO Jia-Wen, PANG Xiao-Xuan, LU Yan-Hui, QIAN Jia-Ning, XX Hong-Xing*, LÜ Zhong-Xian* (State Key Laboratory for Quality and Safety of Agro-Products, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

Abstract: Soil salinisation poses a threat to the safe production of rice. Salt stress, as a key abiotic factor, directly affects rice and indirectly influences the population adaptability of important rice field pests. This study assessed the impact of salt stress on the ecological adaptability of *Sogatella furcifera* by measuring the nymphal developmental duration, survival rate, proportion of short-winged adults, proportion of female adults, number of eggs laid per female, female adult longevity, egg developmental duration, and egg hatching rate of individuals fed rice treated with different concentrations of NaCl (0, 25 mmol/L, 50 mmol/L, 75 mmol/L, and 100 mmol/L). The results showed that the nymphal developmental duration did not differ significantly from the control group under any of the salt stress treatments. The survival rate of nymphs decreased initially, then increased, and decreased again with increasing salt concentration. The survival rates of nymphs in the 25 mmol/L, 75 mmol/L, and 100 mmol/L treatment groups were significantly lower than those in the control group, while there was no significant difference between the 50 mmol/L treatment

基金项目：浙江省“三农九方”科技协作计划项目（2025SNJF046、2023SNJF006）；浙江省“尖兵”“领雁”研发攻关计划（2023C02018）
作者简介：郭嘉雯，女，博士，助理研究员，研究方向为粮食作物虫害防控，E-mail：guojiawen91@126.com
*共同通讯作者 Author for correspondence：徐红星，男，博士，研究员，主要研究方向为粮食作物虫害防控，E-mail：13588332930@163.com；吕仲贤，男，博士，研究员，主要研究方向为粮食作物虫害防控，E-mail：luzxmh@163.com
收稿日期 Received：2025-06-25；修回日期 Revision received：2025-08-12；接受日期 Accepted：2025-08-15

group and the control group. Salt stress significantly altered adult wing morph differentiation, resulting in a significant decrease in the proportion of short-winged individuals in the 75 mmol/L treatment group, but the proportion of female adults was unaffected. The number of eggs laid per female in the 25 mmol/L [(129.40 ± 23.06) eggs] and 100 mmol/L [(152.31 ± 14.37) eggs] treatment groups was significantly lower than that of the control group [(283.41 ± 32.30) eggs], whereas female adult longevity showed no significant changes. All salt stress treatments significantly prolonged the egg development duration, but no significant differences were observed in egg hatching rates. This study elucidates the regulatory effects of salt stress on key biological parameters of *S. furcifera* population, providing a scientific basis for precise monitoring and development of ecological control strategies against this pest in saline-alkali rice areas.

Key words: Salt stress; *Sogatella furcifera*; nymph development; adult reproduction; egg development

土壤盐碱化是全球主要土地退化问题之一，严重制约农业可持续发展和土地资源利用（Wu *et al*.，2021；马凯和饶良懿，2023）。据统计，全球受盐碱化影响的土壤面积超10亿hm^2，其中盐碱化农田占比超10%（Ivushkin *et al*.，2019；联合国粮食及农业组织，2021）。我国盐碱地总面积约3 000万hm^2（Li *et al*.，2014）。受气候变化及灌溉不当影响，盐碱化土地面积持续扩大（杨劲松等，2022）。土壤盐碱化不仅削弱生态系统功能与安全，还显著影响植物生长。植物通过离子稳态、氧化应激调节及防御物质代谢等生理生化响应适应盐胁迫（Fu and Yang，2023）。这些适应性反应可能改变植物–昆虫互作关系，进而影响昆虫取食、发育及繁殖。例如，盐胁迫下的柑橘树能显著抑制亚洲柑橘木虱*Diaphorina citri*的产卵量和卵存活率，并降低其取食选择，从而减轻危害（Dos Santos *et al*.，2021）；盐胁迫处理棉苗后可抑制朱砂叶螨*Tetranychus cinnabarinus*的消长（马惠等，2017）；高盐胁迫可显著抑制美洲棉铃虫*Helicoverpa zea*的生长发育及种群繁殖（Pawar *et al*.，2025）。但在番茄潜叶蛾*Tuta absoluta*等其它昆虫中发现高盐浓度并未显著影响其存活和生长发育（Bowdish and Stiling，1998；Han *et al*.，2016）。

白背飞虱*Sogatella furcifera*是水稻上主要害虫之一，广泛分布于亚洲、澳大利亚北部、太平洋群岛及埃及，具有较强的远距离迁飞能力（Hu *et al*.，2020），在我国各稻区普遍发生，刺吸汁液为害并可传播南方水稻黑条矮缩病毒（Liu *et al*.，2024）。水稻的营养状态、激素平衡和防御物质积累的改变都会影响白背飞虱生存能力和适应性（Horgan *et al*.，2021）。水稻对土壤盐分极为敏感（王洋等，2022），盐胁迫会影响水稻代谢过程、营养吸收生理、防御反应以及糖和氨基酸的产生（Liu *et al*.，2022）。然而，尚不清楚盐胁迫是否影响白背飞虱的生态适应性。因此，本研究采用不同浓度NaCl处理水稻模拟盐胁迫，探究白背飞虱取食受盐胁迫水稻后其生长发育、翅型分化和繁殖的变化，以明确盐胁迫对白背飞虱灾变规律的影响，为盐碱地稻区白背飞虱防控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试水稻植物及盐胁迫处理

本试验选用的水稻品种为台中本地1号（Taichung Native 1，TN1）。种子经消毒和浸泡后，于26℃下萌发24 h，随后转移至装有木村B水稻培养液的种植盘（长×宽×高=32 cm × 25 cm × 6.5 cm）中进行育秧。设置4个盐胁迫水平：处理组分别添加含有25 mmol/L、50 mmol/L、75 mmol/L和100 mmol/L NaCl的木村B培养液，对照组（CK）则使用不添加NaCl的标准木村B水稻培养液。将播种14 d（根系发育相对稳定时）后的秧苗移栽到装有相应盐浓度或对照培养液的玻璃指形管（直径3 cm，长10 cm）中，每管移植1株，培养液添加至管高的1/3处。每3 d更换1次对应浓度的培养液。所有水稻植株均置于气候室内培养，并覆盖防虫网罩，以避免虫害等外界因素的干扰。

1.2 供试昆虫

本研究所用白背飞虱种群采集自浙江省农业科学院试验田。该种群在实验室气候室内，利用大田种植40 d后的TN1水稻苗连续饲养繁殖了5代以上，以建立稳定的实验种群。所有饲养及后续试验的环境条件均在相同环境下进行：温度为（26 ± 1）℃、相对湿度为（75 ± 2）%，光周期为16 L∶8 D。试验选用体型大小一致、孵化24 h内

的初孵若虫作为供试虫源。除另有说明，所有试验均在上述饲养条件下进行。

1.3 盐胁迫下水稻对白背飞虱生长发育的影响

水稻经盐胁迫处理15 d后，将24 h内初孵若虫接入玻璃指形管中，管口使用脱脂棉进行封口，防止白背飞虱逃逸。每个处理组设60个重复。试验期间，每3 d将试虫转移至经相同处理的新鲜水稻植株上，以保障食料新鲜并维持盐浓度稳定。每间隔24 h观察并记录若虫生长发育情况，直至全部若虫羽化。待若虫羽化为成虫后，计数雌、雄成虫数量，同时统计雌成虫长翅型和短翅型个体数量，计算成虫短翅型比例和雌性比例。

1.4 盐胁迫下水稻对白背飞虱繁殖的影响

水稻进行盐胁迫处理15 d后，从1.3中获得24 h内羽化的雌、雄成虫各1头，接入玻璃指形管中，管口用脱脂棉进行封口以防止飞虱逃逸。每个处理组设10个重复。试验期间，每3 d将试虫转移至同一盐浓度处理的新鲜水稻植株上，并对替换下的植株持续观察若虫孵化情况。自首次发现若虫孵化之日起，每日记录孵出的若虫数量并及时移除，直至连续10 d无新若虫孵出为止。最后，在体视显微镜下解剖所有水稻植株，仔细检查并记录未孵化卵粒数量，同时统计每头成虫的死亡时间，计算每头雌成虫的总产卵量以及成虫寿命。

1.5 数据处理与分析

本研究对不同盐胁迫处理组的若虫发育历期、雌性比例、成虫短翅型比例、成虫寿命、产卵量和卵历期进行统计分析。其中，对于若虫存活率、雌性比例、成虫短翅型比例等以百分比形式表示的指标，在检验前均进行了反正弦平方根转换。首先，对所有指标数据分别进行了方差齐性检验（Levene检验）和正态性检验（Shapiro-Wilk test）。由于本研究数据均符合正态分布和方差齐性，因此使用Tukey's HSD法（Tukey's honestly significant difference）分析上述参数在各处理组之间的差异。若虫存活率使用卡方检验进行方差分析。所有数据分析及绘图均使用R语言（4.2.1）完成。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对白背飞虱若虫发育的影响

取食25、50、75和100 mmol/L NaCl处理的水稻后，白背飞虱雌性和雄性若虫的发育历期与对照组相比均无显著差异（P>0.05）（图1）。

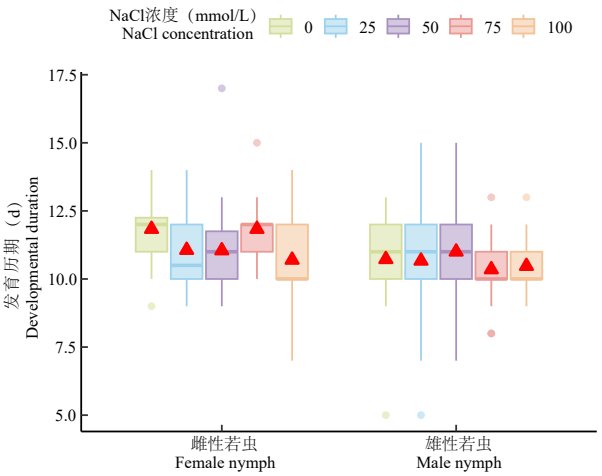

图1 取食不同盐胁迫处理水稻的白背飞虱若虫发育历期

Fig. 1 Developmental duration of *Sogatella furcifera* nymphs feeding on rice subjected to different salt stress treatments

注：箱型上下边缘线分别为上四分位数和下四分位数，中间粗线为中位数，箱型上下延升的垂直线分别为上界和下界，红色三角形表示平均值，圆点为离群点。下图同。

Note: The upper and lower edges of the box represented the upper and lower quartiles, respectively. The thick central line denoted the median. The vertical lines extending from the box indicated the upper and lower bounds. Red triangles represented the mean. Circles represented outliers. The same for the following figures.

2.2 盐胁迫对白背飞虱若虫存活的影响

白背飞虱若虫存活率随NaCl浓度升高呈先下降后升高后下降的趋势。取食25、75和100 mmol/L NaCl处理水稻的白背飞虱若虫存活率显著低于对照组，但当取食50 mmol/L NaCl处理水稻时，白背飞虱若虫存活率与对照组无显著性差异（χ^2=13.191，df=4，P=0.010）（图2）。

2.3 盐胁迫对稻飞虱短翅型比例和雌性比例的影响

盐胁迫处理显著改变了白背飞虱的短翅型比例。与对照组相比，取食75 mmol/L NaCl胁迫水稻的白背飞虱群体中，短翅型个体的比例显著降低（$F_{4,10}$=4.802，df=4，P=0.020）（图3-A）。然而，不同盐胁迫处理对白背飞虱雌成虫的比例未产生显著影响（P>0.05）（图3-B）。

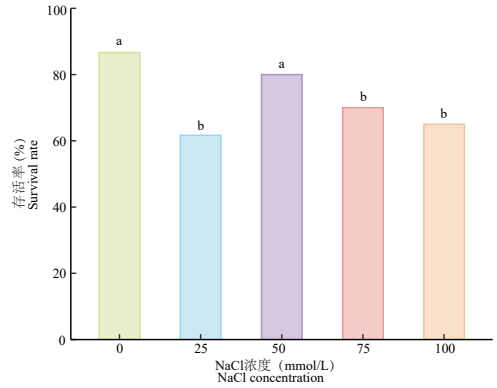

图2 取食不同盐胁迫处理水稻的白背飞虱若虫存活率

Fig. 2 Survival rate of *Sogatella furcifera* nymphs feeding on rice subjected to different salt stress treatments

注：不同小写字母表示不同盐胁迫处理之间存在显著性差异（卡方检验，P<0.05）。Note: Different lowercase letters indicated statistically significant differences among salt stress treatments (Chi-square test, P < 0.05).

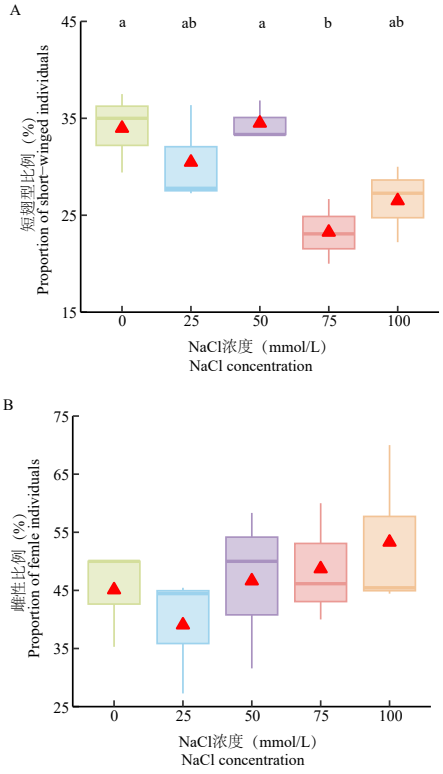

图3 取食不同盐胁迫处理水稻的白背飞虱短翅型比和雌性比例

Fig. 3 Proportion of short-winged and female individuals of *Sogatella furcifera* feeding on rice subjected to different salt stress treatments

注：不同小写字母表示不同盐胁迫处理组之间有显著性差异（Tukey′s HSD，P<0.05）。下图同。Note: Different lowercase letters indicated significant differences among treatments (Tukey′s HSD test, P < 0.05). The same for the following figures.

2.4 盐胁迫对白背飞虱雌成虫繁殖和寿命的影响

白背飞虱雌成虫产卵量受盐胁迫显著影响，取食25和100 mmol/L NaCl胁迫水稻的白背飞虱单雌产卵量分别为（129.40 ± 23.06）粒和（152.31 ± 14.37）粒，显著低于对照组的单雌产卵量[（283.41 ± 32.30）粒]（$F_{4,80}$=4.379，df=4，P=0.003）（图4-A）。然而，盐胁迫处理对白背飞虱雌成虫的寿命没有产生显著影响（P>0.05）（图4-B）。

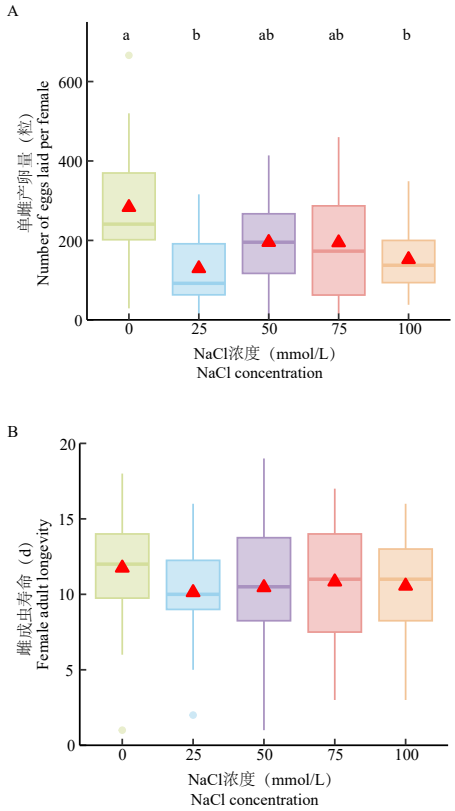

图4 取食不同盐胁迫处理水稻的白背飞虱雌成虫单雌产卵量和寿命

Fig. 4 Number of eggs laid per female and female adult longevity of *Sogatella furcifera* feeding on rice subjected to different salt stress treatments

2.5 盐胁迫对白背飞虱卵发育历期和卵孵化率的影响

取食不同浓度NaCl处理水稻的白背飞虱卵发育历期存在显著性差异。与对照组相比，取食25、50、75和100 mmol/L NaCl处理水稻的白背飞虱卵发育历期显著延长（$F_{4,82}$=11.425，df=4，P<0.001），但各处理间卵孵化率无显著差异（P>0.05）（表1）。

表1 取食不同盐胁迫处理水稻的白背飞虱卵历期和卵孵化率

Table 1 Egg developmental duration and hatchability rate of *Sogatella furcifera* feeding on rice subjected to different salt stress treatments

NaCl浓度（mmol/L） NaCl concentration	卵发育历期（d） Egg development duration	卵孵化率（%） Egg hatching rate
0	5.00 ± 0.31 b	92.85 ± 2.87 a
25	8.38 ± 0.51 a	80.69 ± 6.47 a
50	7.00 ± 0.32 a	91.70 ± 2.64 a
75	7.39 ± 0.66 a	93.00 ± 2.38 a
100	7.47 ± 0.24 a	96.35 ± 1.62 a

注：不同小写字母表示卵发育历期（Tukey′s HSD，$P<0.05$）和卵孵化率（卡方检验，$P<0.05$）不同盐胁迫处理之间存在显著性差异。Note: Different lowercase letters indicated statistically significant differences in egg developmental duration (Tukey′s HSD, $P < 0.05$) and egg hatching rate (Chi-square test, $P < 0.05$) among salt stress treatments.

3 结论与讨论

全球热带和亚热带地区超过1.5亿hm^2的现有及潜在水稻种植区正遭受盐胁迫影响（Molla *et al.*，2015；Bannari and Al-Ali，2020）。土壤盐度升高会改变水稻植株质量，进而可能引发对植食性昆虫的自下而上效应（Quais *et al.*，2019；Dos Santos *et al.*，2021）。本研究发现，盐胁迫处理会影响白背飞虱的若虫存活、短翅型比例、雌性成虫产卵量和卵的发育历期，但对这些参数的影响因NaCl浓度而异。

白背飞虱若虫在低（25 mmol/L）和高盐（75 mmol/L和100 mmol/L）下存活率显著降低，可能与水稻氨基酸合成抑制（低盐致营养不足）、细胞失水及钠离子毒性（高盐干扰水分摄入和神经功能）以及寄主防御变化有关（Dow，2017；Farooq *et al.*，2023；邹燕等，2025）。中盐（50 mmol/L）下积累的脯氨酸等物质可能提供替代氮源缓解胁迫。由于本研究未直接测定盐胁迫下水稻的生理生化特性，因此白背飞虱若虫存活率的变化究竟是盐分直接作用（渗透压、离子毒性）还是寄主生理改变间接所致，需进一步研究。与褐飞虱*Nilaparvata lugens*（Dolezal *et al.*，2019）和麦二叉蚜*Schizaphis graminum*（Araya *et al.*，1991）不同，白背飞虱雌虫繁殖力并非随盐度升高而下降。取食25 mmol/L和100 mmol/L处理组白背飞虱雌成虫产卵量显著降低，而50 mmol/L和75 mmol/L处理下无变化，推测与不同盐浓度对水稻营养组成及补偿机制的差异影响有关（Farooq *et al.*，2023；Singh *et al.*，2023）。盐胁迫未显著缩短雌虫寿命，表明产卵下降更可能源于盐分干扰卵子发生或产卵行为。此外，盐胁迫显著延长了卵发育历期，这可能与母体传递效应相关。雌虫所产卵内营养物质可能减少或质量下降，需更长时间转化资源并应对胁迫（如氧化损伤）（Singh *et al.*，2023）。尽管发育延迟，但卵孵化率未受影响，表明白背飞虱卵通过延缓发育优先保障胚胎存活以应对母体传递的盐胁迫压力。

本研究发现盐胁迫显著影响白背飞虱成虫翅型分化。取食75 mmol/L NaCl处理水稻的短翅型比例显著降低，而取食100 mmol/L处理则与对照组无显著差异。短翅型通常繁殖力强但迁飞能力弱（Gao *et al.*，2019）。稻飞虱发育需充足能量支持繁殖，营养缺乏常促使其发育为能耗更低、利于迁飞的长翅型（蒯鹏和娄永根，2022）。盐胁迫（如75 mmol/L）可能通过抑制水稻氮吸收、降低汁液营养成分并增强防御，干扰激素平衡，促使更多个体发育为能耗低、利于迁飞的长翅型以适应逆境（Hariadi *et al.*，2015；Liang *et al.*，2016；Gao *et al.*，2019）。然而，在100 mmol/L高盐胁迫下，水稻生理功能严重受损，若虫存活率急剧下降。尽管幸存个体可能倾向于发育为短翅型以适应极端胁迫，但该浓度下的高强度生理压力可能导致雌虫正常繁殖能力受损，无法实现有效的产卵行为。未来研究可深入分析其翅型分化的分子机制。

盐胁迫对白背飞虱种群的影响具有浓度依赖性。低盐（25 mmol/L）胁迫可降低若虫存活率及雌成虫产卵量，可能对种群增长产生一定抑制作用。中等浓度（50 mmol/L）下若虫存活率不变，但卵发育历期延长，可能延缓种群世代更替。高盐（75 mmol/L和100 mmol/L）对白背飞虱的抑制作用更显著，表现为若虫存活率大幅下降，但两种高盐浓度之间（75 mmol/L与100 mmol/L）对白背飞虱翅型分化和繁殖的影响模式存在差异。这种响应模式表明盐碱化农田并非总抑制其种群，

特定区域或可维持甚至增长。本研究为预测盐碱稻区白背飞虱种群动态与灾变风险提供了理论基础，并为其综合防控策略制定提供了科学依据。

参考文献（References）

Ali MP, Rahman MS, Nowrin F, *et al*. Salinity influences plant – pest – predator tritrophic interactions [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2021, 114 (4): 1470–1479.

Araya F, Abarca O, Zúñiga GE, *et al*. Effects of NaCl on glycine–betaine and on aphids in cereal seedlings [J]. *Phytochemistry*, 1991, 30 (6): 1793–1795.

Bannari A, Al–Ali ZM. Assessing climate change impact on soil salinity dynamics between 1987–2017 in arid landscape using Landsat TM, ETM+ and OLI data [J]. *Remote Sensing*, 2020, 12: 2794

Bowdish TI, Stiling P. The influence of salt and nitrogen on herbivore abundance: Direct and indirect effects [J]. *Oecologia*, 1998, 113 (3): 400–405.

Chunthaburee S, Dongsansuk A, Sanitchon J, *et al*. Physiological and biochemical parameters for evaluation and clustering of rice cultivars differing in salt tolerance at seedling stage [J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2016, 23 (4): 467–477.

Dolezal T, Krejcova G, Bajgar A, *et al*. Molecular regulations of metabolism during immune response in insects [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2019, 109: 31–42.

Dos Santos MÂCM, Coelho Filho MA, Modesto FJN, *et al*. Behavioral responses of Asian citrus psyllid (Hemiptera: Liviidae) to salinity–stressed citrus [J]. *Environmental Entomology*, 2021, 50 (3): 719–731.

Dow JA. The essential roles of metal ions in insect homeostasis and physiology [J]. *Current Opinion in Insect Science*, 2017, 23: 43–50.

Farooq M, Jang YH, Kim EG, *et al*. Evaluation of amino acid profiles of rice genotypes under different salt stress conditions [J]. *Plants*, 2023, 12 (6): 1315.

Food and Agriculture Organisation of the United Nations. ‘World soil day: The food and agriculture organisation of the united nations emphasises that soil alignment poses a threat to global food security’ [EB/OL]. [2021–03–12]. https: //www. fao. org/newsroom/detail/world–soil–day–fao–highlights–threat–of–soil–salinization–to–food–security–031221/zh. [联合国粮食及农业组织. 《世界土壤日：联合国粮农组织强调土壤盐碱化对全球粮食安全构成威胁》 [EB/OL]. [2021–03–12]. https: //www.fao.org/newsroom/detail/world–soil–day–fao–highlights–threat–of–soil–salinization–to–food–security–031221/zh]

Fu H, Yang Y. How plants tolerate salt stress [J]. *Current Issues in Molecular Biology*, 2023, 45 (7): 5914–5934.

Gao X, Fu Y, Ajayi OE, *et al*. Identification of genes underlying phenotypic plasticity of wing size via insulin signaling pathway by network–based analysis in *Sogatella furcifera* [J]. *BMC Genomics*, 2019, 20: 396.

Han P, Wang ZJ, Lavoir AV, *et al*. Increased water salinity applied to tomato plants accelerates the development of the leaf miner *Tuta absoluta* through bottom–up effects [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 39037.

Hariadi YC, Nurhayati AY, Soeparjono S, *et al*. Screening six varieties of rice (*Oryza sativa*) for salinity tolerance [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2015, 28: 78–87.

Horgan FG, Arida A, Ardestani G, *et al*. Positive and negative interspecific interactions between coexisting rice planthoppers neutralise the effects of elevated temperatures [J]. *Functional Ecology*, 2021, 35 (1): 181–192.

Hu SJ, Sun SS, Fu DY, *et al*. Migration sources and pathways of the pest species *Sogatella furcifera* in Yunnan, China, and across the border inferred from DNA and wind analyses [J]. *Ecology Evolution*, 2020, 10: 8235–8250.

Ivushkin K, Bartholomeus H, Bregt AK, *et al*. Global mapping of soil salinity change [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 231: 111260.

Kuai P, Lou Y. Research advances in biology, ecology and management of rice planthoppers [J]. *Journal of Zhejiang University* (Agriculture and Life Sciences Edition), 2022, 48 (6): 692–700. [蒯鹏, 娄永根. 稻飞虱生物学、生态学及其防控技术研究进展 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2022, 48 (6): 692–700]

Li J, Pu L, Han M, *et al*. Soil salinization research in China: Advances and prospects [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24 (5): 943–962.

Liang ZQ, Song SY, Liang SK, *et al*. Analysis of differential proteins in two wing–type females of *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) [J]. *Journal of Insect Science*, 2016, 16: 35.

Liu CT, Mao BG, Yuan DY, *et al*. Salt tolerance in rice: Physiological responses and molecular mechanisms [J]. *The Crop Journal*, 2022, 10 (1): 13–25.

Liu D, Zhong Y, Li Z, *et al*. Rice varietal resistance to the vector *Sogatella furcifera* hinders transmission of Southern rice black–streaked dwarf virus [J]. *Pest Management Science*, 2024, 80 (7): 3684–3690.

Ma H, Zhu Q, Chen B, *et al*. Effects of salinity stress on the population dynamics of spider mites [J]. *Biological Disaster Science*, 2017, 40 (4): 239–242. [马惠, 朱其松, 陈博聪, 等. 盐胁迫对朱砂叶螨种群动态的影响研究 [J]. 生物灾害科学, 2017, 40 (4): 239–242]

Ma K, Rao L. Research lineage and hot spot analysis of soil salinization in China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28 (11): 90–102. [马凯, 饶良懿. 我国土壤盐碱化问题研究脉络和热点分析 [J]. 中国农业大学学报, 2023, 28 (11): 90–102]

Manrique V, Cuda JP, Overholt WA, *et al*. Influence of host–plant quality on the performance of *Episimus unguiculus*, a candidate biological control agent of *Brazilian peppertree* in Florida [J]. *Biocontrol*, 2009, 54: 475–484.

Molla KA, Debnath AB, Ganie SA, *et al*. Identification and analysis of novel salt responsive candidate gene based SSRs (cgSSRs) from rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *BMC Plant Biology*, 2015, 15: 122.

Pawar SV, Paranjape SM, Kalowsky GK, *et al*. Tomato defenses under stress: The impact of salinity on direct defenses against insect herbivores [J]. *Plant, Cell & Environment*, 2025, 48 (5), 3647-3659.

Quais MK, Ansari NA, Wang GY, *et al*. Host plant salinity stress affects the development and population parameters of *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) [J]. *Environmental Entomology*, 2019, 48 (5): 1149-1161.

Singh A, Rajput VD, Sharma R, *et al*. Salinity stress and nanoparticles: Insights into antioxidative enzymatic resistance, signaling, and defense mechanisms [J]. *Environmental Research*, 2023, 235: 116585.

Smykal V, Raikhel AS. Nutritional control of insect reproduction [J]. *Current Opinion in Insect Science*, 2015, 11: 31-38.

Wang Y, Zhang R, Liu YH, *et al*. Rice response to salt stress and research progress in salt tolerance mechanism [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2022, 36 (2): 105-117. [王洋, 张瑞, 刘永昊, 等. 水稻对盐胁迫的响应及耐盐机理研究进展 [J]. 中国水稻科学, 2022, 36 (2): 105-117]

Wu D, Jia KL, Zhang XD, *et al*. Remote sensing inversion for simulation of soil salinization based on hyperspectral data and ground analysis in Yinchuan, China [J]. *Natural Resources Research*, 2021, 30: 4641-4656.

Yang J, Yao R, Wang X, *et al*. Research on salt-affected soils in China: History, status quo and prospect [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2022, 59 (1): 10-27. [杨劲松, 姚荣江, 王相平, 等. 中国盐渍土研究：历程、现状与展望 [J]. 土壤学报, 2022, 59 (1): 10-27]

Zou Y, Liu F, Fang C, *et al*. Effects of salt stress in the whole growth period on physiological characteristics of rice varieties with different salt tolerances [J]. *Hybrid Rice*, 2025, 40 (2): 67-77. [邹燕, 刘芳禧, 方畅宇, 等. 全生育期盐胁迫对不同耐性水稻品种生理特性的影响 [J]. 杂交水稻, 2025, 40 (2): 67-77]