

辽河流域栽培稻对二化螟 (*Chilo suppressalis*) 的抗性

郝丽霞^{1,2}, 韩永强¹, 侯茂林^{1,*}, 廖晓兰²

(1. 植物病虫害生物学国家重点实验室, 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193; 2. 湖南农业大学生物安全科技学院, 长沙 410128)

摘要: 采用活体成株鉴定法测定了辽河流域主栽水稻品种对二化螟发育和为害的影响, 同时测定了不同品种的主要形态特性、硅细胞数量和主要生化特性, 评价这些品种对二化螟的抗性、分析其发生的可能机制。盐丰 47 对二化螟幼虫表现出较好的抗性, 在沈农 265 上二化螟幼虫体重最小。在所测定的特性中, 螟害株率与不同品种倒二叶叶角的自然对数之间具有显著的正相关关系, 与稻茎 Si 含量之间具有显著的负线性相关关系; 二化螟幼虫体重只与不同品种稻茎直径之间具有显著的正线性相关关系。研究结果对水稻品种抗性利用和未来水稻抗性育种的意义。

关键词: 水稻品种; 二化螟; 抗性; 形态特性; 生化特性; 组织特性

文章编号: 1000-0933(2008)12-5987-07 中图分类号: S433.1 文献标识码: A

Resistance of japonica rice varieties in Liaohe Valley to *Chilo suppressalis* and its underlying mechanisms

HAO Li-Xia^{1,2}, HAN Yong-Qiang¹, HOU Mao-Lin^{1,*}, LIAO Xiao-Lan²

1 State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China

2 College of Bio-safety, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 5987 ~ 5993.

Abstract: To screen resistant rice varieties in Liaohe Valley to the rice stem borer *Chilo suppressalis* Walker, development of and damage by the borer larvae on the varieties were examined using intact-plant resistance evaluation method, and morphological and biochemical characteristics and number of silica cells of the rice varieties were determined to explore the potential resistance mechanisms. Percent of damaged plant was the smallest on the variety Yanfeng 47, and larval weight on Shennong 265 was the lowest. Percent of damaged plant was found to be strongly correlated with angle of the reciprocal 2nd leaf and Si content in stem, where the former is a positive logarithmic correlation and the latter is a negative linear one. And, a strong positive linear correlation was revealed between larval weight and stem diameter. Implications of the current results were discussed in the context of utilization of and future rice breeding for insect resistance.

Key Words: rice variety; *Chilo suppressalis*; insect resistance; morphology; histology; biochemistry

基金项目: 国家重点基础研究发展计划课题资助项目(2006CB1020004); 国家科技支撑计划课题资助项目(2006BAD08A04)

收稿日期: 2008-07-04; 修订日期: 2008-09-28

作者简介: 郝丽霞(1982~), 女, 山东青岛人, 硕士生, 主要从事昆虫生态学研究。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mlhou@ippcaas.cn

致谢: 本研究中的粳稻品种由辽宁省农业科学院田春晖研究员提供, 中国农业大学张文绪教授指导硅细胞计数, 在此一并致谢。

Foundation item: The project was financially supported by National Key Basic Research & Development Program (No. 2006CB1020004) and National R&D Program (No. 2006BAD08A04)

Received date: 2008-07-04; **Accepted date:** 2008-09-28

Biography: HAO Li-Xia, Master candidate, mainly engaged in insect ecology.

二化螟 *Chilo suppressalis* Walker 是世界水稻生产的重要害虫之一,在我国各稻作区均有分布。随着我国北方水稻栽培面积的稳定增长、耕作栽培制度的变化和全球气候变暖,二化螟在北方稻区发生为害面积不断增长,为害程度日益加重,成为我国北方水稻生产的主要害虫^[1,2]。据估算,全国螟虫(包括二化螟和三化螟)年发生面积约 1500 万 hm^2 ,因防治代价和作物损失造成总经济损失达 115 亿元左右^[3]。长期单纯的化学农药防治导致水稻生产成本增加、环境污染和稻米残毒增多,以及害虫抗药性上升、防治效果差等不利结果。选用抗性品种是害虫综合治理的重要措施,对无公害、有机稻米的生产尤为重要。

水稻品种抗二化螟的育种和筛选研究在 20 世纪 60 年代就开始进行了,而且已经筛选出了一些中抗或耐虫品种^[4,5]。有研究表明,对二化螟的抗性与水稻植株的形态特征关系密切,如高秆、粗茎和宽厚叶片等特点有利于二化螟的侵入和取食^[6~10]。另外,植株的组织学特性也与抗二化螟有关,水稻厚壁组织宽厚、薄壁组织细胞密集、气孔小、硅细胞密度高、硅质化程度高和维管束多且间距小的品种对二化螟抗性高^[4,10~15]。再者,水稻植株的生化特性影响二化螟的发育和对二化螟的抗性,总糖和氨基酸总量含量高二化螟为害严重^[8,16]或减轻^[4]。但由于此前二化螟在北方稻区发生为害面积较小、为害程度轻,就北方水稻品种对二化螟的抗性鉴定和抗性机制缺少研究,这极不利于在北方稻区二化螟发生和为害日益加重形势下的二化螟综合治理。

本文着眼于辽河流域的主要栽培稻品种,报道其对二化螟的抗虫性,以及不同品种对二化螟抗性差异的形态学、组织学和生物化学基础,以期水稻品种选育和品种选用提供指导。

1 材料与方法

1.1 水稻品种和二化螟

本研究的水稻品种包括辽粳 294、辽星 1 号,辽宁省农业科学院;盐丰 47,辽宁省盐碱地利用研究所;富禾 70,辽宁东亚种业有限公司;沈农 265,沈阳农业大学。这 5 个品种均为粳稻品种。以感螟虫品种汕优 63(湖南省湘东种业有限公司)作对照。所有品种同期播种同期移栽。稻苗双本移栽到铁桶(13L)中,每桶 3 穴,每品种 3 桶,随机排列。栽培水稻所用的土壤采自中国农业科学院植物保护研究所试验地的同一批土壤。试验中使用的二化螟为采自北京郊区茭白田经室内茭白饲养 2 代的种群。试验进行期间日平均温度为 $(26.3 \pm 3.6)^\circ\text{C}$ 。

1.2 二化螟在不同水稻品种上的发育和为害

采用活体成株鉴定法^[17]测定不同水稻品种对二化螟的抗性。在分蘖盛期(7 月 24 日),每稻株接二化螟蚁螟 2 头。接虫前清除其它虫卵、天敌,接虫后用 40 目网罩加盖,以防干扰。在孕穗期(8 月 12 日)分别调查各品种的螟害株率,同时剥查二化螟残留活虫数,称量各品种水稻上残留二化螟幼虫的体重,测量幼虫头宽。

1.3 不同水稻品种的形态学和部分组织学特性

在接虫的同时,测量各品种主茎的叶鞘长度、主茎倒二叶最宽处的宽度、主茎相同部位的直径、主茎倒二叶叶角。

取稻株主茎外部健叶鞘,在距叶耳 2cm 处剪 1cm 的叶鞘,于 70% 的乙醇溶液中脱色 2~3d,用苯酚煮至透明。然后在显微镜(400 \times)下镜检硅细胞数。每品种重复 30 次。

1.4 不同水稻品种的生物化学特性

取不同品种分蘖盛期相同部位的稻茎用于测定氨基酸总量和总糖含量^[18]。采用磺基水杨酸法提取游离氨基酸,6mol/L HCl 水解法提取总氨基酸。称取一定量的稻茎(1~2 g)匀浆。匀浆液以 12000 \times g 离心 15 min,上清液以 0.02 mol/L HCl 稀释,在日立 835-50 型氨基酸自动分析仪上分析氨基酸组分及含量,层析柱 2.6 mm \times 150 mm,分离树脂为 2619F,柱温 53 $^\circ\text{C}$,缓冲液流速 0.225 ml/min,茚三酮(上海试剂厂)流速 0.3 ml/min,反应温度 100 $^\circ\text{C}$,标样为 18 种氨基酸混合液(日本和光化学产品)。稻茎总糖含量采用斐林氏容量法测定。各品种重复 3 次。

取各品种分蘖盛期相同部位的稻茎,测定 N、P、K^[19]和 Si^[20]的含量。测定 N、P、K 的样品采用 H_2SO_4 -

H₂O₂ 消煮,然后 N 素采用蒸馏定氮,P 素采用钒钼黄比色法,K 素采用火焰光度计法进行测定;测定 Si 素的样品用 50% NaOH 消解,采用分光光度计测定。各品种重复 3 次。

1.5 统计分析方法

计算各指标数值的平均值和标准误。采用单因素方差分析检验品种对各种形态、组织和生化特性影响的显著性,存在显著影响时采用 LSD 法比较不同品种间的差异。百分率数据经平方根反正弦转换后进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 二化螟在不同水稻品种上的发育和为害

接蚁螟后 20 d 内,在汕优 63 和富禾 70 上二化螟幼虫体重和头宽均较大,在沈农 265 上体重和头宽均较小。但是,不同水稻品种上二化螟的发育没有差异(表 1)。不同品种的螟害株率存在显著差异。在汕优 63 和沈农 265 两个品种上造成的螟害株率比在辽粳 294 和盐丰 47 上的螟害株率高 33.8% ~ 50.5%,差异显著(表 1)。在所有品种中,盐丰 47 对二化螟表现出较好的抗虫性,在沈农 265 上二化螟幼虫体重最小。

表 1 不同水稻品种上二化螟的为害和发育

Table 1 Damage by and development of the rice stem borer on different rice varieties

品种 Varieties	螟害株率 (%) % damaged plant	体重 (mg/larva) Weight	头宽 (mm/larva) Head width
汕优 63 Shanyou 63	38.4 ± 4.1 a	11.3 ± 3.7 a	0.91 ± 0.11 a
沈农 265 Shennong 265	37.0 ± 7.2 a	5.6 ± 1.4 b	0.72 ± 0.10 a
辽星 1 号 Liaoxing 1	27.9 ± 4.5 ab	7.6 ± 4.9 ab	0.68 ± 0.11 a
富禾 70 Fuhe 70	24.7 ± 4.6 ab	12.1 ± 3.4 a	0.82 ± 0.08 a
辽粳 294 Liaojing 294	24.5 ± 5.8 b	8.5 ± 2.9 ab	0.77 ± 0.11 a
盐丰 47 Yanfeng 47	19.0 ± 6.8 b	8.8 ± 2.4 ab	0.61 ± 0.09 a

同列数据 (mean ± SE) 后字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$); 表 2 相同; 螟害株率为 9 穴水稻的统计结果,二化螟幼虫体重和头宽为 8 ~ 20 头的统计结果 The data (mean ± SE) in each column followed by the same letter are not significantly different ($P > 0.05$); It is the same in Table 2; Percent of damaged plant is based on 9 rice clusters, and weight and head width are calculated against 8 to 20 larvae

2.2 二化螟发育和为害与不同品种形态特性间的关系

所测定的水稻各种形态特性在品种之间均存在显著差异(表 2)。其中,辽星 1 号的叶鞘长度和倒二叶最宽处的叶宽最大,分别显著高于其它品种的叶鞘长和叶宽。倒二叶叶角以汕优 63 最大,显著高于除沈农 265 以外的其它 4 个品种。茎直径也以汕优 63 最大,显著大于除富禾 70 以外的其它 4 个品种,沈农 265 的茎直径最小。

表 2 不同水稻品种的形态特性

Table 2 Morphological characteristics of different rice varieties

品种 Varieties	叶鞘长 Sheath length (cm)	叶宽 Leaf width (mm)	叶角 Leaf angle (°)	茎直径 Stem diameter (cm)
汕优 63 Shanyou 63	15.6 ± 0.4 d	11.9 ± 0.2 cd	7.2 ± 0.8 a	0.68 ± 0.05 a
沈农 265 Shennong 265	16.2 ± 0.3 cd	11.4 ± 0.2 c	6.0 ± 0.6 ab	0.47 ± 0.07 c
辽星 1 号 Liaoxing 1	19.8 ± 0.4 a	12.7 ± 0.3 a	4.9 ± 0.2 b	0.55 ± 0.09 b
富禾 70 Fuhe 70	18.2 ± 0.3 b	10.2 ± 0.3 c	4.8 ± 0.8 b	0.67 ± 0.10 a
辽粳 294 Liaojing 294	16.3 ± 0.4 cd	10.2 ± 0.2 c	4.8 ± 0.3 b	0.54 ± 0.08 b
盐丰 47 Yanfeng 47	16.9 ± 0.5 c	12.2 ± 0.3 ab	4.9 ± 0.4 b	0.56 ± 0.04 b

各指标的重复数为叶鞘长 32,叶宽 30,叶角 18,茎直径 20 Replications of sheath length, width of leaf, leaf angle, and number of tillering are 32, 30, 19, and 20, respectively

将不同水稻品种的形态特性对螟害株率和二化螟幼虫的发育指标进行回归分析,发现螟害株率仅与倒二

叶叶角的自然对数具有显著相关关系 ($F = 13.46, P = 0.021$), 螟害株率随倒二叶叶角的增大而增大(图 1); 汕优 63 的倒二叶叶角最大, 盐丰 47 的倒二叶叶角显著减小, 相对应的螟害株率分别为最大和最小。二化螟幼虫体重只与茎直径之间具有显著的线性相关关系 ($F = 72.78, P = 0.001$), 幼虫体重随茎直径的增大而增大(图 2); 汕优 63 茎直径最大, 沈农 265 最小, 相对应的二化螟幼虫体重差异显著。

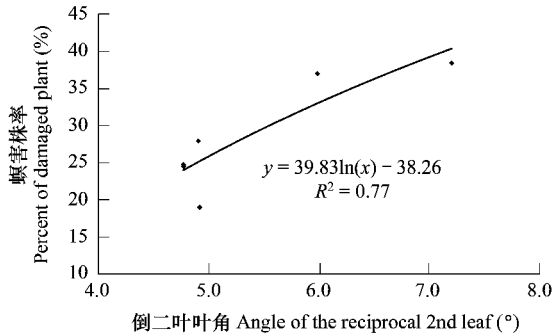


图 1 不同水稻品种螟害株率(y)与倒二叶叶角(x)间的相关关系
Fig. 1 Relationship between percent of damaged plant (y) and angle of the reciprocal 2nd leaf (x)

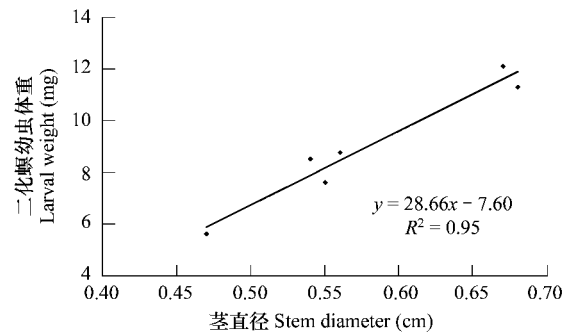


图 2 不同水稻品种上二化螟幼虫体重(y)与稻茎直径(x)间的关系
Fig. 2 Relationship between weights of the rice stem borer larvae (y) and culm diameter (x)

2.3 二化螟发育和为害与不同品种组织特性间的关系

在水稻的组织特性上, 本文测定了叶鞘中的硅细胞数量。硅细胞数量在不同品种间存在显著差异 ($F = 19.80, P < 0.001$)。每 10 mm^2 上的硅细胞数量, 辽星 1 号和富禾 70 显著高于辽粳 294 和盐丰 47, 后者又显著高于汕优 63 和沈农 265(图 3)。但是不同水稻品种的硅细胞数量与螟害株率和二化螟发育指标之间均没有显著的相关关系。

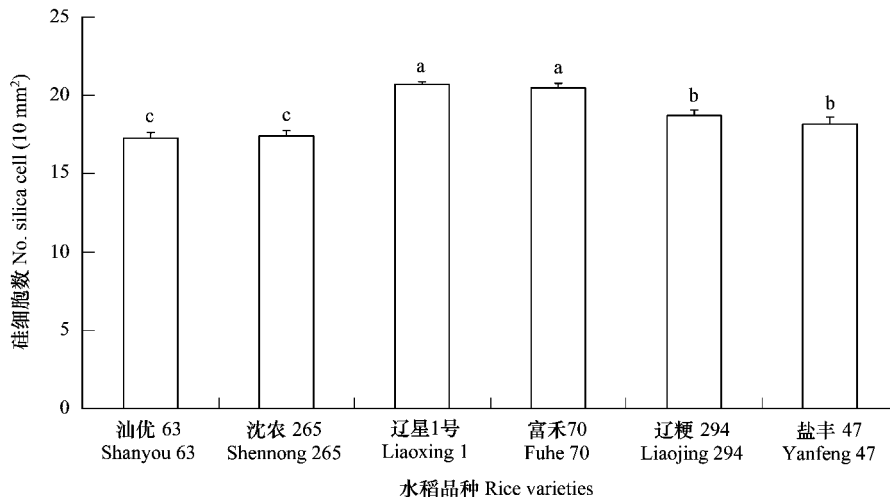


图 3 不同水稻品种叶鞘中硅细胞数量($\text{mean} \pm \text{SE}$)

Fig. 3 Number of silica cells ($\text{mean} \pm \text{SE}$) in sheath of different rice varieties

柱图上字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$) Bars topped by the same letter are not significantly different ($P > 0.05$)

2.4 二化螟发育和为害与不同品种生化特性间的关系

分蘖盛期稻茎中无机元素 N、P、K 和 Si 的含量在不同水稻品种之间均存在显著差异(图 4)。经分析, 不同水稻品种稻茎中 N、P、K 的含量与二化螟引起的螟害株率之间没有显著相关关系, 与二化螟幼虫发育之间也没有显著相关关系。但是, 不同品种上的螟害株率与稻茎中 Si 含量之间具有显著的线性相关关系 ($F = 8.27, P = 0.045$), 螟害株率随不同品种中 Si 含量的增大而下降(图 5)。Si 含量对二化螟幼虫发育没有

影响。

不同水稻品种稻茎中氨基酸总量和总糖含量如图 6 所示。氨基酸总量存在显著差异,沈农 265 的含量最高,显著高于除汕优 63 以外的 4 个品种。总糖含量在品种之间没有显著差异。经分析,不同水稻品种稻茎中氨基酸总量和总糖含量与螟害株率和二化螟幼虫发育之间均没有显著相关关系。

3 讨论

3.1 二化螟在不同水稻品种上的发育和为害

水稻品种对螟虫的抗性是水稻螟虫综合治理的重要组成部分。前人已经筛选出了一些中抗或耐虫品种^[4,5]。本文采用活体成株鉴定法首次就北方稻区的主栽水稻品种对二化螟的抗性进行筛选,发现盐丰 47 上螟害株率最低,表现出较好的抗性;在沈农 265 上,螟害株率与感螟品种汕优 63 之间没有差异,但是残留二化螟幼虫的体重最轻,因此也不利于二化螟种群的持续增长。前人报道籼稻品种比粳稻品种对二化螟更敏感^[4,5],本文结果类似,粳稻品种上的螟害株率和二化螟的发育均低于对照籼稻品种。

3.2 水稻品种对二化螟抗性的机制

为明确不同品种对二化螟抗性的机制,本研究测定了不同品种的叶鞘长度、叶片宽度、叶角和茎直径等形态特性,叶鞘硅细胞数量等组织特性,以及稻茎 N、P、K、Si、氨基酸总量和总糖含量等生化特性。在这些因素中,螟害株率仅与倒二叶叶角和稻茎 Si 含量之间具有显著的相关关系,二化螟幼虫体重只与茎直径有显著相关关系。盐丰 47 的倒二叶叶角最小,而且稻茎 Si 含量最大,螟害株率最小;对照品种汕优 63 的倒二叶叶角最大,且稻茎 Si 含量最小,螟害株率最大。沈农 265 的稻茎直径最小,二化螟体重最轻,但是由于其倒二叶叶角在粳稻品种中最大,其螟害株率在粳稻品种中最高。这些结果与已有报道相吻合。就稻株的形态特征而言,顾正远等^[4]、Chen 和 Liu^[11]报道茎秆细矮、叶鞘紧贴等形态特性不利于二化螟侵入,或者侵入后发育缓慢、死亡率高;多数籼稻品种由于株型松散、茎秆粗壮等原因,二化螟容易侵入和发育^[6,10]。就硅含量的影响而言,罗举等^[14]曾报道上海地区主栽水稻品种的螟虫侵入率与硅含量成相反关系,刘光杰等^[8]也报道硅质化程度高的品种对二化螟的抗性高。硅质化对螟虫影响的具体机制尚不清楚,可能影响幼虫,特别是蚁螟的钻蛀行为和发育。

本文测定的不同水稻品种的其他形态、组织和生化特性与二化螟在不同品种上的为害和发育差异之间没有显著相关关系。就稻株营养成分而言,已有报道的结果不尽一致。如对三化螟,杨丽梅等^[21]认为植株糖含量高则抗性高,而方继朝等^[22]发现稻株糖含量与抗性没有明显相关性;对二化螟,Ishii 等^[16]和刘光杰等^[8]报道植株糖含量高则抗性高,而顾正远等^[4]则认为植株糖含量低则抗性高,结论正好相反。这也许和不同试验中测定的水稻品种组成有关。从本文结果看,二化螟在所测定品种上的螟害株率和发育与不同品种氨基酸总

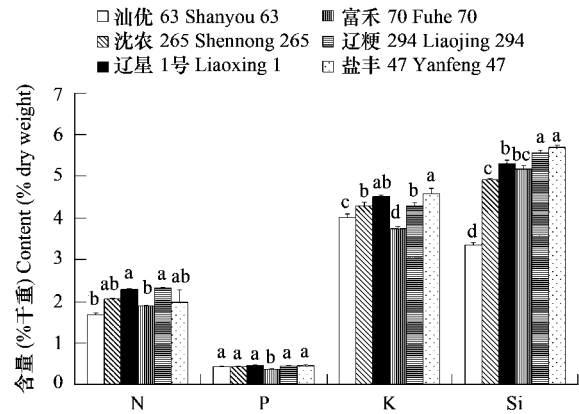


图 4 不同水稻品种稻茎中 N、P、K 和 Si 的含量 (mean ± SE)

Fig. 4 Contents of N, P, K, and Si in stems of different rice varieties

同一指标柱状图上字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$) Bars of the same parameters topped by the same letter are not significantly different ($P > 0.05$)

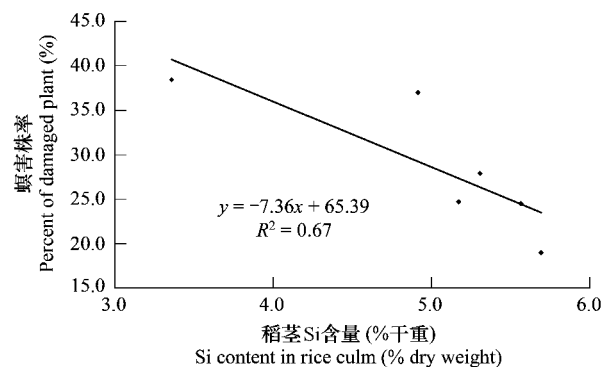


图 5 不同水稻品种螟害株率与稻茎 Si 含量间的相关关系

Fig. 5 Relationship between percent of damaged plant and Si content in culm of different rice varieties

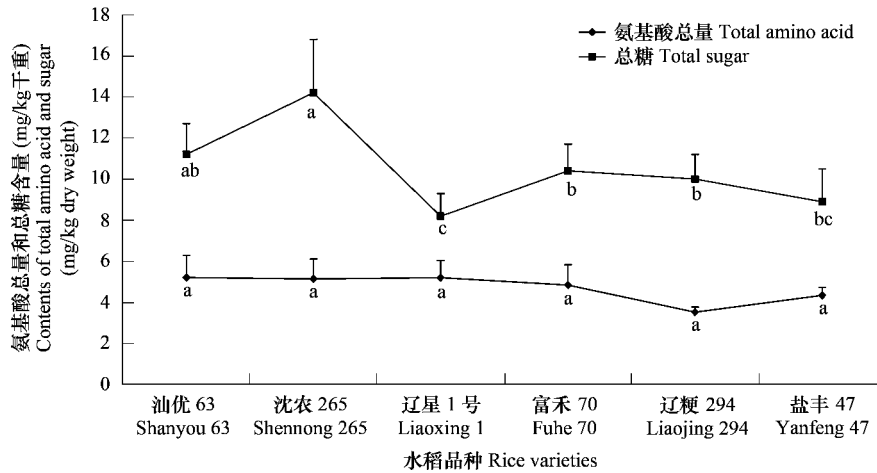


图 6 不同水稻品种稻茎氨基酸总量和总糖含量

Fig. 6 Contents of total amino acid and total sugar in stems of different rice varieties

同一线下字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$) Values in the same line with the same letters are not different ($P > 0.05$)

量和总糖含量没有明显相关关系。就硅细胞数量来说,前人的结果也不一致。方继朝等^[22]发现三化螟在不同品种上的发育差异与硅细胞密度无关,而较多的作者^[10~13]报道硅细胞密度高的品种上螟虫存活率低或抗性高。本研究没有发现硅细胞密度与二化螟为害或发育之间存在相关关系。但是,如前所述,本研究发现稻茎硅含量对二化螟的为害有显著影响,表明不同水稻品种中的硅细胞对硅的富集作用可能存在差异,这还有待于进一步研究证实。

根据本文结果,为增强水稻品种对二化螟的抗性,在育种中应注意选育株型紧凑、叶角小、茎秆细、具有较强硅富集能力的品种;在现有品种的推广应用上,盐丰 47 对二化螟具有较好的抗性,在种植沈农 265 的稻区,应该切实提高第一代二化螟的防治效果,降低第一代造成的螟害株率。

References:

- [1] Tian C H, Sun F Y. New trends in occurrence of and damage by the rice stem borer in Liaoning Province. *Liaoning Agri. Sci.*, 1998, (1): 51-52.
- [2] Zhang H W, Wang Z, Li M S. Occurrence and control strategy of the rice stem borer in Haerbin. *Heilongjiang Agri. Sci.*, 2005, (3): 22-23.
- [3] Sheng C F, Wang H T, Sheng S Y, et al. Pest status and loss assessment of crop damage caused by the rice borers, *Chilo suppressalis* and *Tryporyza incertulas* in China. *Chin. Bull. Entomol.*, 2003, 40(4): 289-294.
- [4] Gu Z Y, Xiao Y F, Wang Y M. Resistance of rice varieties to *Chilo suppressalis*. *Acta Phytopylacica Sinica*, 1989, 16(4): 245-249.
- [5] Shu Z L, Fang J C, Sheng S L. Preliminary investigation of resistance of rice varieties to *Chilo suppressalis*. *Entomol. J. East China*, 2003, 12(1): 14-18.
- [6] Zhou Q. Relationship between rice varieties and population dynamics of rice borers. *Chin. Bull. Entomol.*, 1988, 25(4): 201-203.
- [7] Zhou G F. Influence of farming systems and rice varieties on occurrence of *Chilo suppressalis*. *Chin. Bull. Entomol.*, 1994, 31(1): 1-3.
- [8] Liu G J, Huang H P, Xie X F, et al. Resistance of early season rice to *Chilo suppressalis* and its biochemical bases. *J. Southwest Agri. Univ.*, 1998, 20(50): 512-515.
- [9] Li X Y, Quan C W, Huang S C, et al. Influence of fertilization and planting density on damage by the rice stem borer, *Chilo suppressalis*. *J. Jilin Agri. Univ.*, 2003, 25(1): 31-34, 38.
- [10] Xu H X, Lu Z X, Chen J M, et al. Resistance of different rice varieties to the striped stem borer, *Chilo suppressalis*, and its relationship with the morphological and anatomic characteristics of rice. *Acata Phytopylacica Sinica*, 2006, 33(3): 241-245.
- [11] Chen C J, Liu T S. A study on the correlation between stem characteristics of rice and its resistance to the striped stem borer. *Bull. of Taichung Dist. Agri. Improvement Stat.*, 1994, 43: 1-6.
- [12] Lin T F. Resistance to stem borer (*Chilo suppressalis*) and the performance of agronomic characters of newly developed indica rice lines. *Bull. of Taichung Dist. Agri. Improvement Stat.*, 1993, 40: 29-36.

- [13] Shahjahan M. Anatomical characteristics of rice plants influencing resistance and susceptibility to yellow stem borer. *Pakistan J. Sci. & Indust. Res.*, 2004, 47(6): 440–445.
- [14] Luo J, Zhang X X, Zhai B P, *et al.* Relationship between insect resistance of four rice varieties in Shanghai and damage by rice borers. *Chin. J. Rice Sci.*, 2006, 20(1): 97–101.
- [15] Djamin A, Pathak M D. Role of silica in resistance to Asiatic rice borer, *Chilo suppressalis* (Walker), in rice varieties. *J. Econ. Entomol.*, 1967, 60: 347–351.
- [16] Ishii S, Azim A, Hirano C. A further experiment on the effect of dietary levels of protein and carbohydrate on the growth of the rice stem borer. *Jpn. J. Appl. Entomol. and Zool.*, 1959, 3(2): 145–149.
- [17] Zhou Z M. Preliminary studies on the appraisal of rice variety resistance to *Chilo suppressalis*. *Acata Phytopylacica Sinica*, 1985, 12(3): 159–164.
- [18] Qiao F L. *Laboratory Analysis Technologies for Plant Physiology*. China Agricultural Science and Technology Publishing House, 2002.
- [19] Lu R K. *Soil Agrochemical Analytical Methods*. China Agricultural Science and Technology Publishing House, 2000.
- [20] Dai W M, Zhang K Q, Duan B W, *et al.* A simple method for analyzing silicon content in rice. *Chinese J Rice Sci.*, 2005, 19(5): 460–462.
- [21] Yang L M, Huang X Q, Shuai Y H, *et al.* Resistance of rice variety Xiaoping to *Tryporyza incertulas*. *Scientia Agricultura Sinica*, 1985, 5(5): 58–62.
- [22] Fang J C, Guo H F, Cheng X N, *et al.* Mechanisms underlying resistance of different rice varieties to *Tryporyza incertulas*. *Acata Entomologia Sinica*, 2002, 45(1): 91–95.

参考文献:

- [1] 田春晖,孙富余. 辽宁省水稻二化螟发生为害新格局. *辽宁农业科学*, 1998, (1): 51~52.
- [2] 张洪文,王哲,李茂生. 哈尔滨地区二化螟发生规律及防治对策. *黑龙江农业科学*, 2005, (3): 22~23.
- [3] 盛承发,王红托,盛世余,等. 我国稻螟灾害的现状与损失估计. *昆虫知识*, 2003, 40(4): 289~294.
- [4] 顾正远,肖英方,王益民. 水稻品种对二化螟抗性的研究. *植物保护学报*, 1989, 16(4): 245~249.
- [5] 束兆林,方继朝,盛生兰. 水稻品种(系)对二化螟抗性的初步研究. *华东昆虫学报*, 2003, 12(1): 14~18.
- [6] 周圻. 水稻品种和稻螟种群消长的关系. *昆虫知识*, 1988, 25(4): 201~203.
- [7] 周国福. 耕作制度与水稻品种对二化螟发生世代的影响. *昆虫知识*, 1994, 31(1): 1~3.
- [8] 刘光杰,黄和平,谢秀芳,等. 早稻品种对二化螟的抗性及其生化基础研究. *西南农业大学学报*, 1998, 20(50): 512~515.
- [9] 李熙英,权成武,黄世臣,等. 施肥量与栽培密度对水稻二化螟为害程度的影响. *吉林农业大学学报*, 2003, 25(1): 31~34, 38.
- [10] 徐红星,吕仲贤,陈建明,等. 不同水稻品种对二化螟的抗性及其与形态学和解剖学特征的关系. *植物保护学报*, 2006, 33(3): 241~245.
- [14] 罗举,张孝羲,翟保平,等. 上海地区四个水稻品种抗虫特性与螟害的关系. *中国水稻科学*, 2006, 20(1): 97~101.
- [17] 周祖铭. 水稻品种抗二化螟鉴定初步研究. *植物保护学报*, 1985, 12(3): 159~164.
- [18] 乔富廉. *植物生理学实验分析测定技术*. 中国农业科技出版社, 2002.
- [19] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 中国农业科技出版社, 2000.
- [20] 戴伟民,张克勤,段彬伍,等. 测定水稻硅含量的一种简易方法. *中国水稻科学*, 2005, 19(5): 460~462.
- [21] 杨丽梅,黄秀清,帅应垣,等. 水稻品种小青抗三化螟害研究. *中国农业科学*, 1985, 5(5): 58~62.
- [22] 方继朝,郭慧芳,程遐年,等. 不同水稻品种对三化螟抗性差异的机理. *昆虫学报*, 2002, 45(1): 91~95.