

文章编号:1000-8551(2003)06-423-04

水稻植株光合作用能力的变化与其 抗白背飞虱的关系

陈建明¹ 俞晓平¹ 陈俊伟² 吕仲贤¹ 程家安³
陶林勇¹ 郑许松¹ 徐红星¹

(1. 浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所;2. 浙江省农业科学院园艺研究所,浙江 杭州 310021;

3. 浙江大学应用昆虫学研究所,浙江 杭州 310029)

摘要:稻株受白背飞虱为害后,感虫品种(TN1和汕优63)光合作用速率和叶绿素含量下降率比抗虫品种(N22)明显;汕优63和N22品种的二磷酸核酮糖(RuBP)羧化酶的含量和活力均增加,TN1品种在为害5d时RuBP羧化酶的含量和活力明显增加,而在为害10d时显著下降;感虫品种受害后叶片光合产物滞留比抗虫品种多,即感虫品种光合产物向叶鞘、茎、分蘖和根等部位的转移量少于抗虫品种。

关键词:水稻品种;白背飞虱;光合作用能力;抗性

RELATIONSHIP BETWEEN PHOTOSYNTHESIS CHANGES IN LEAVES OF RICE PLANTS INFESTED BY WHITEBACKED PLANTHOPPER, *Sogatella furcifera* HORVATH AND ITS RESISTANCE

CHEN Jian-ming¹ YU Xiao-ping¹ CHEN Jun-wei² LU Zhong-xian¹ CHENG Jia-an³
TAO Ling-yong¹ ZHENG Xu-song¹ XU Hong-xing¹

(1. Institute of Plant Protection and Microbe, Zhejiang Academy of Agricultural Science;

2. Institute of Horticulture, Zhejiang Academy of Agricultural Science, Huangzhou, Zhejiang 310021;

3. Institute of Applied Entomology, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310029)

Abstract: The results showed that after rice plants were infested by whitebacked plant hopper (WBPH), photosynthesis rate and chlorophyll contents in leaves of susceptible rice varieties (TN1 and Shanyou 63) declined obviously compared to those of resistant rice variety (N22). The contents and activities of ribulose-1,5-biphosphate (RuBP) carboxylase increased in Shanyou 63 and N22, but in TN1 it increased after WBPH feeding for 5 days, and then, declined significantly after feeding for 10 days. Translocation of assimilates in leaves of susceptible variety TN1 was less than that of resistant variety N22 after WBPH feeding for 24 hours.

Key words: rice varieties; *Sogatella furcifera*; photosynthesis; resistance

白背飞虱(*Sogatella furcifera* Horvath)是我国南方及东南亚国家稻区的一种主要迁飞性害虫。随着耕作制度的改革,杂交稻和迟熟品种的大面积推广应用,施肥水平提高及气候变化等因素,其为害还可能进一步加剧。该虫暴发频率高,发生面积大,危害严重时导致稻株枯死,呈“虱烧”症状,严重威胁着我国水稻生产的稳产高产和可持续发展。抗虫品种的应用被认为是防治白背飞虱最经济有效的方法^[1],许多国家(尤其是发展中国家)已经把抗性引入品种列为国家育种重要项目。但白背飞虱生理适应型的出现,使得一些抗虫品种丧失抗性。有关水稻品种对白背飞虱的生长发育和繁殖的影响^[2-3]、

收稿日期:2002-09-09

基金项目:国家自然科学基金重点项目(39630200)和中国水稻科学基金资助项目(970006)

作者简介:陈建明(1963~),男,副研究员,主要从事农业昆虫与害虫防治研究。

品种抗性筛选及抗虫机理研究^[4~8]等已有大量报道,明确白背飞虱取食为害后不同抗虫品种水稻植株光合作用能力的变化规律,对指导水稻抗虫品种的筛选和实现白背飞虱的持续控制具有重要的现实意义。

1 材料与方方法

1.1 供试虫源和水稻品种

供试白背飞虱虫源采自浙江省农业科学院农场水稻田,经室内饲养2代后取3~4龄若虫试验;饲料苗为45d左右苗龄的感虫品种TN1。供试品种为TN1、汕优63(感虫品种)和N22(抗虫品种)。

1.2 试验方法

1.2.1 光合作用速率和叶绿素含量的测定 采用塑料盆钵,在盆钵中移栽2株苗,用透明尼龙网罩罩住,肥水管理按常规措施进行,至50d苗龄时每盆钵只留2株主茎,按40头/株接入3~4龄若虫,以不接虫的作为对照。当感虫品种TN1植株倒2叶片开始变黄时,测定各品种的倒2叶叶片的光合作用速率和叶绿素含量。光合作用速率用美国CID公司生产的CF301PS光合作用测定仪测定。叶绿素含量参照陈福明等^[9]的混合液方法测定叶绿素含量。取倒2叶的中部叶片(打孔器取样)放入15ml混合液(无水丙酮 无水乙醇 蒸馏水=4.5 4.5 1)中,黑暗中提取直至组织完全变白,再用752型分光光度计测定645 nm和663 nm处的光密度值,并根据Arnon公式计算叶绿素含量。

1.2.2 二磷酸核酮糖羧化酶含量和活力的测定 稻苗的准备和接虫处理同1.2.1的方法。在白背飞虱取食为害5和10d时分别剪取稻株的倒2叶叶片迅速放入液态N₂中用于测定二磷酸核酮糖羧化酶含量和活力。取鲜叶0.1g加液态N₂固定并迅速磨成粉状,加1%不溶性PVP和1~2ml Rubisco抽提液,磨成匀浆,在15000xg离心力作用下高速离心15min,上清液即为酶液,整个过程应在0~4℃下进行。然后按照蒋德安等^[10]的Rubisco免疫扩散法和分光光度法分别测定酶的含量和活力。

1.2.3 光合产物转移的测定 按1.2.1的方法移栽稻苗,当水稻生长到50~60d的苗龄时留一主茎,用¹⁴C标记水稻植株完全展开的倒2叶叶片的中部30min,然后接入白背飞虱3~4龄若虫,密度为50头/株,24h后参照谢学民等^[11]方法取样。取样部位:A为标记部位,B为标记叶以上叶片及鞘(包括幼嫩部份),C为标记部位以下叶片及鞘,D为标记叶以下叶片及鞘,E为根(包括分蘖根),F为分蘖。各部位样品先在110℃烘箱中烘30min,再在80℃下烘干至恒重,称重并磨成粉状。取60mg样品80%乙醇(10ml左右)抽提(放在80℃水浴抽提1h)过滤取上清液保存。再取沉淀物抽提,重复3次,将3次的上清液混匀定容。从定容后的容量瓶中取1ml溶液加到含吸收液的闪烁液(PPO 4g + POPOP 0.2g + 乙二醇 20ml + 甲醇 100ml + 1,4-二氧六环配制成1000ml)中,用LKB1217 Rakebeta液体闪烁计数仪测定其放射性活度,并折算成每mg的dpm值。

2 结果

2.1 稻株受害后光合作用速率和叶绿素含量的变化

试验结果表明(图1),白背飞虱为害后水稻植株叶绿素含量和光合作用速率均下降,不同品种下降的程度不同。中抗品种N22的叶绿素含量、光合作用速率分别下降8.47%和10.68%,感虫品种TN1、汕优63分别下降22.97%~29.70%和33.19%~39.38%。说明抗虫品种受害后叶绿素含量、光合作用速率下降较少。

2.2 稻株受害后叶片二磷酸核酮糖羧化酶含量的变化

白背飞虱为害后稻株叶片的光合作用关键酶-二磷酸核酮糖(RuBP)羧化酶的含量在不同品种和不同为害时

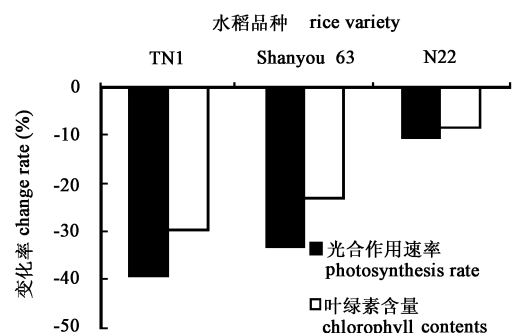


图1 白背飞虱为害后稻株叶片光合作用速率和叶绿素含量的变化

Fig. 1 Change of photosynthesis rate and chlorophyll contents of rice plant infected by WBPH

间有明显差异。为害 5d 时 N22、TN1 和汕优 63 品种的 RuBP 羧化酶含量均增加,尤其是 TN1 品种,增加 23%左右。为害 10d 时 TN1 品种的 RuBP 羧化酶含量反而低于对照,而汕优 63 和 N22 品种仍分别高于对照 20%和 30%左右(表 1)。

表 1 白背飞虱为害对水稻叶片 RuBP 羧化酶含量的影响

Table 1 RuBP carboxylase content in leaves of rice plant infected by WBPH (mg/g FW)

水稻品种 rice variety	接虫后天数 days after infection	对照 control	处理 treatment	变化率 change percent (%)
TN1	5	13.11 ±0.71	16.09 ±1.22	+22.73
	10	14.29 ±0.32	13.90 ±1.63	-2.73
汕优 63 Shanyou 63	5	15.38 ±0.54	17.63 ±0.89	+14.63
	10	17.83 ±0.72	21.26 ±0.99	+19.24
N22	5	15.81 ±1.14	17.49 ±1.56	+10.63
	10	19.94 ±0.28	25.97 ±1.48	+30.24

2.3 稻株受害后叶片二磷酸核酮糖羧化酶活力的变化

如图 2 所示,不同品种稻株受白背飞虱为害后叶片 RuBP 羧化酶活力的变化趋势基本与该酶的含量变化一致。为害 5d 时以 TN1 品种的活力增加最多;为害 10d 时 TN1 活力反而减少,汕优 63 和 N22 品种均继续增加,比为害 5d 的活力还大。

2.4 稻株受害后光合产物运输量的变化

无论抗虫品种 N22 和感虫品种 TN1,光合产物均向上运输至标记叶以上叶片及叶鞘的幼嫩部位为主,占 85%以上,标记部位以下叶片及叶鞘占 10%左右。光合产物向下运输至该叶以下各部位的量很少,仅占 5%以下。当白背飞虱取食为害 24h 后,光合产物在植株各部位的分配率在 N22、TN1 间有一定差异。N22 品种在为害后叶片的光合产物向标记叶以外的其他部位转移率比不接虫稻株的要少 5.15%,也就是说标记部位叶片的光合产物滞留增加了 5.15%;而感虫品种 TN1 在白背飞虱取食 24h 后标记部位叶片光合产物的滞留量比对照不接虫稻株增加了 13.31%,即向标记叶外转移的光合产物百分率比 N22 少。初步说明白背飞虱取食为害后感虫品种叶片光合产物向叶鞘、茎、分蘖和根等部位的转移量明显少于抗虫品种(表 2)。

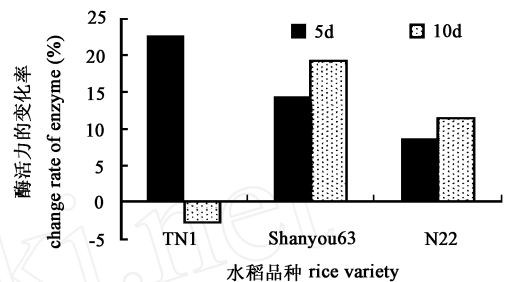


图 2 白背飞虱为害后水稻叶片 RuBP 羧化酶活力 ($\mu\text{molCO}_2/\text{gFW} \cdot \text{min}$) 的变化

Fig. 2 Change of RuBP carboxylase activity ($\mu\text{molCO}_2/\text{gFW} \cdot \text{min}$) of rice plant infected by WBPH

表 2 白背飞虱为害对水稻叶片光合产物在植株各部位分配率的影响

Table 2 Effects of WBPH feeding on translocation of assimilates in rice plant (%)

植株不同部位 different position of plant	TN1			N22		
	对照 control	处理 treatment	变化率 change	对照 control	处理 treatment	变化率 change
A	74.66 ±4.30	84.60 ±4.12	+13.31	81.39 ±3.30	85.58 ±7.57	+5.15
B	9.77 ±0.37	5.38 ±2.50	-44.93	6.26 ±2.50	5.23 ±4.11	-16.45
C	13.51 ±4.13	7.01 ±1.44	-48.11	8.98 ±1.39	6.88 ±3.98	-23.39
D	0.69 ±0.19	0.59 ±0.30	-14.49	0.84 ±0.36	0.71 ±0.31	-15.48
E	1.01 ±0.32	0.84 ±0.63	-16.83	2.02 ±0.40	1.33 ±0.42	-34.16
F	0.51 ±0.29	0.46 ±0.17	-9.80	0.52 ±0.20	0.27 ±0.08	-48.08

注:表内数据为光合产物在植株各部位的分配百分率(%)。

Note: Data in the table mean translocation percent of assimilates in different position of rice plant.

3 讨论

植物的 CO₂ 光合还原和光呼吸的碳氧化反应均由叶绿体中核酮糖 1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶(简称 Rubisco)催化,它是决定净光合速率的一个关键酶。Rubisco 的羧化活力就是通常所说的 RuBP 羧化酶活力。环境因子(光照、温度、湿度、CO₂ 浓度等)对该酶的活性有调节作用,植物体内的 CO₂ 浓度、pH 值、Mg²⁺ 浓度、ATP/ADP 比值等生理因子也会影响 Rubisco 的活性^[12]。前人对水稻^[13-14]等 C₃ 作物的研究表明,Rubisco 的含量或羧化活性与光合速率显著相关。魏锦城等^[15]的研究结果证实水稻籼粳稻品种间的 Rubisco 羧化活性差异不大,但与 Saka^[16]的结论不同。本文结果表明,白背飞虱取食对不同抗性水稻品种的 RuBP 羧化酶含量和活力的影响不同,取食 5d 时,在抗感虫品种上该酶的含量和活力均增加,随着取食时间的延长(取食 10d 时),感虫品种的 RuBP 羧化酶含量和活力显著下降,而抗虫品种仍比健康稻株高。同时,感虫品种光合作用速率和叶绿素含量下降率比抗虫品种大。

植物体制造的光合产物只有在体内进行合理分配时才能保证其正常生命活动的完成。水稻光合产物的运转与分配^[17-18]明显地影响着水稻产量的形成。不同营养水平^[11]、害虫取食(主要是鳞翅目害虫和刺吸式口器如褐飞虱、蚜虫等)^[8,19-21]等外界因子对水稻光合产物运转与分配的影响已有许多报道。白背飞虱主要刺吸水稻植株韧皮部汁液,其刺吸结果既对水稻植株生活细胞产生机械破坏作用,又形成对自身取食有利、对稻株营养物质流动起阻碍作用的口针鞘。王荣富等^[8]的研究结果间接证明褐飞虱和白背飞虱取食后的稻株有物质截流现象,造成稻株光合作用生产力和其他生理生化过程受抑。Kemmore^[19]用¹⁴C 研究证实,水稻叶鞘受褐飞虱为害后,其光合产物运输明显受阻。Cagampang^[20]也发现褐飞虱取食后水稻韧皮部受堵塞的现象。Watanabe 等^[21]研究认为,褐飞虱取食引起的光合产物转移与分配和光合作用速率的下降对水稻的生长和产量有明显的负面影响。本研究结果表明,白背飞虱取食后不同抗性品种稻株的光合作用产物有滞留现象,而且感虫品种的光合产物滞留比抗虫品种多。根据结果我们推测,由于白背飞虱的刺吸阻塞了韧皮部的营养物质运输,导致光合作用产物无法分配,植株含水量下降,从而引起叶绿素和 Rubisco 的分解,光合作用速率下降,最后整个植株枯萎死亡。因此,如何减少受害稻株光合产物在叶片上的滞留时间,延缓 Rubisco 的分解速率将是今后水稻生理生化和抗虫育种工作一个新的研究课题。

参考文献:

- [1] Heinrichs E A, et al Genetic valuation for insect resistance in rice. IRRI, Los Banos, Laguna, Philippines, 1985.
- [2] 刘芹轩,吕万明,等. 白背飞虱的生物学和生态学的研究. 中国农业科学, 1982, 12(3): 189 ~ 192
- [3] 陈建明,俞晓平,葛秀春,等. 水稻植株防御白背飞虱为害的某些生理反应. 中国水稻科学, 2000, 14(1): 43 ~ 47
- [4] 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
- [5] 俞晓平,巫国瑞,胡萃. 水稻品种对白背飞虱耐性和抗生性的研究. 植物保护学报, 1990, 17(4): 327 ~ 330
- [6] 刘光杰, R M Wilkins, R C Saxena. 白背飞虱对不同抗性糖类物质的利用. 昆虫学报, 1995, 38(4): 421 ~ 427
- [7] 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、抗生性和耐虫性的测定. 中国水稻科学, 1998, 12(3): 189 ~ 192
- [8] 陈福明,陈顺伟. 混合液法测定叶绿素含量的研究. 林业科技通讯, 1984, (2): 4 ~ 8.
- [9] 王荣富,程遵年,邹运鼎. 褐飞虱和白背飞虱的取食对水稻营养生长的影响. 应用生态学报, 1998, 9(1): 51 ~ 54
- [10] 蒋德安,朱城. 浙江省高等学校重点建设教材《植物生理学实验指导》. 成都:成都科技大学出版社, 1999.
- [11] 谢学民,饶立华,沈毓渭,等. 杂交水稻光合产物的运转分配及其与钾的关系. 浙江农业学报, 1991, 3(1): 1 ~ 4.
- [12] 翁晓燕,蒋德安,毛伟华. Rubisco 活化酶及其对 Rubisco 的调节作用. 植物生理通讯, 1998, 34: 69 ~ 73
- [13] Makino A, Mac T, Ohire K. Changes in photosynthetic capacity in rice leaves from emergence through senescence: analysis from ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and leaf conductance. Plant Cell Physiol, 1984, 25: 511 ~ 514.
- [14] Makino A, Mac T, Ohire K. Enzymic properties of ribulose-1,5-biphosphate (RuBP) carboxylase-oxygenase purified from rice leaves. Plant Physiol, 1985, 79: 57 ~ 60.
- [15] 魏锦城, Agata WI. 水稻叶片生育过程中 Rubisco 活性与光合、光呼吸的关系. 植物生理学报, 1996, 20(3): 285 ~ 292

(下转第 416 页)

接应用。

表 4 特殊配合力效应值

Table 4 Effects of specific combining ability (sca)

组合 hybrids	株高 plant height	穗伸出度 panicle exertion	倒一节 first internode	结实率 seed setting	生育期 growth duration	千粒重 1000-grain weight
协青早 eA2/明恢 63 Xieqingzao eA2/Minghui63	- 2.4144	0.0855	0.4231	- 0.1000	- 0.1461	0.0924
协青早 A/明恢 63 XieqingzaoA/Minghui63	1.1581	- 0.1325	0.2506	- 0.1050	2.5209	0.6066
协青早 eA2/明恢 86 XieqingzaoeA2/Minghui86	- 1.6219	- 0.3045	- 0.3069	0.0125	- 0.3958	0.5431
协青早 A/明恢 86 XieqingzaoA/Minghui86	2.3406	2.5225	- 0.2394	0.0675	- 0.5619	1.7065
协青早 eA2/皖恢 57 XieqingzaoeA2/Wanhui57	2.1156	0.8905	0.7313	0.0225	0.8439	- 0.2619
协青早 A/皖恢 57 XieqingzaoA/Wanhui57	2.8281	0.4225	0.2531	0.0350	- 0.3226	- 0.2543
协青早 eA2/密阳 46 XieqingzaoeA2/Miyang46	1.9206	- 0.4620	- 0.8419	- 0.0025	- 0.3960	- 0.3735
协青早 A/密阳 46 XieqingzaoA/Miyang46	- 6.3269	1.0700	0.2644	0.0025	0.1052	- 1.056
-32eA1/明恢 63 (Minghui63)	2.1156	0.1900	- 0.2294	0.1525	0.2709	- 0.7076
-32A/明恢 63 (Minghui63)	- 0.8594	- 0.1700	- 0.4437	0.0525	- 0.8126	0.0090
-32eA1/明恢 86 (Minghui86)	- 0.0519	0.4900	0.1806	- 0.0750	0.6272	- 0.3135
-32A/明恢 86 (Minghui86)	- 0.6669	0.5300	0.3656	- 0.0050	- 0.0626	- 0.9334
-32eA1/皖恢 57 (Wanhui57)	- 2.9844	- 0.9950	- 0.6769	- 0.0775	- 0.6460	0.3182
-32A/皖恢 57 (Wanhui57)	- 1.9594	- 0.3450	- 0.3019	- 0.4750	- 0.0625	0.1982
-32eA1/密阳 46 (Miyang46)	0.9206	0.3325	0.7256	0.0000	- 0.6460	0.7031
-32A/密阳 46 (Miyang46)	3.4856	0.3025	0.3810	0.0000	0.9375	0.7265

参考文献:

- [1] 张书标, 杨仁崔, 黄荣华, 等. 长穗颈光温敏核不育系培矮 64eS(1) 的选育. 核农学报, 2001, 15(4): 193 ~ 198
- [2] 章清杞, 黄荣华, 张书标, 等. 长穗颈不育系协青早 eA(1) 的选育. 福建农业大学学报, 2000, 29(4): 411 ~ 415
- [3] 黄荣华, 章清杞, 张书标, 等. 辐射诱变选育水稻长穗颈不育系的初步研究. 福建农业大学学报, 2001, 30(2): 133 ~ 137
- [4] 刘来福, 毛盛贤, 黄远樟. 作物数量遗传. 北京: 中国农业出版社, 1984
- [5] 陆作楣. 论杂交稻育种的配合力选择. 中国水稻科学, 1999, 13(1): 1 ~ 5

(上接第 426 页)

- [16] Saka B. Variations in the activities of several photosynthetic enzymes during the growth stages in several genotypes and species of genus *Oryza*. Bull Natl Inst Agri Sci Japan, 1985, D36: 247 ~ 255
- [17] 沈巩懋. 水稻各时期各叶光合作用产物的运转与分配. 农业学报, 1960, 11(1): 30 ~ 40
- [18] 田中孝幸等(朱庆森译). 水稻的基础生理和生态. 上海: 上海科学技术出版社, 1987, 106 ~ 124
- [19] Cagampang GB et al. Metabolic changes in the rice plant during infestation by the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal) (Homoptera: Delphacidae). Appl. Entomol. Zool. 1974, 9(3): 174 ~ 184
- [20] Kemmore PE. Ecology and outbreaks of a tropical insect pest of the green revolution, the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal). Ph D Thesis Univ Calif, Berkeley, 1980, 226
- [21] Watanabe T, Kitagawa H. Photosynthesis and translocation of assimilates in rice plants following phloem feeding by the planthopper *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). J Econ Entomol, 2000, 93(4): 1192 ~ 1198