中国生态农业学报 2012 年 9 月 第 20 卷 第 9 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Sep. 2012, 20(9): 1230−1235

DOI: 10.3724/SP.J.1011.2012.01230

苯并噻二唑(BTH)诱导小麦对条锈病抗性的研究*

韩青梅 刘 巍 魏国荣 黄丽丽 康振生**

(西北农林科技大学植物保护学院 旱区作物逆境生物学国家重点实验室 杨凌 712100)

摘 要 小麦条锈病是小麦生产中的重要病害之一, 为了明确苯并噻二唑(Benzothiadiazole, BTH)对小麦条锈病的诱导抗性作用, 分别以 BTH 处理后的苗期和成株期小麦为试验材料, 诱发接种小麦条锈菌后调查小麦的发病情况及防治效果。温室苗期试验结果表明, 与对照相比, 不同浓度 BTH 处理后, 小麦抗锈性明显提高, 病情指数降低 29.69~49.77, 防治效果可高达 90%左右, 不同浓度处理之间有一定差异, 但与对照相比差异极显著; BTH 诱导的最佳浓度为 0.3 mmol·L^{-1}, BTH 喷雾处理后 6~7 d 小麦诱导抗锈性表达最强, 诱导抗性的持久期在 15 d 以上。田间成株期试验结果表明, 不同浓度处理诱导的小麦抗锈性无明显差异, 浓度为 0.3 mmol·L^{-1} 的 BTH 诱导处理小区小麦的产量最高, 千粒重最重, 为 42.21 g, 增产最高达 19.3%。小麦在分蘖期、拔节前期和分蘖期+拔节前期喷施 BTH, 都能诱导小麦抗条锈性增强, 病情指数显著降低, 防治效果分别为 43.07%、47.43%和 50.01%, 增产 13.4%~16.9%。综上所述, BTH 可以诱导小麦产生抗锈性, 对小麦条锈病防治起到积极作用。

关键词 小麦 条锈菌 苯并噻二唑 诱导抗性 生育期 病情指数 防治效果

中图分类号: S435.121.4+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2012)09-1230-06

Determination of BTH-induced wheat resistance to *Puccinia striiformis*

HAN Qing-Mei, LIU Wei, WEI Guo-Rong, HUANG Li-Li, KANG Zhen-Sheng

(State Key Laboratory of Crop Stress Biology in Arid Areas; College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract Stripe rust, caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (*Pst*), is one of the most damaging wheat plant diseases across the globe. Exploration of resistant cultivars is one of the most economic and preferred control methods of stripe rust diseases. Wheat resistance to stripe rust fungi could easily be lost due to rapid virulent variations in *Pst* races. Benzothiadiazole (BTH), a novel and powerful elicitor, could induce systemic acquired resistance (SAR) in plants. So far no report has focused on BTH-induced wheat resistance to stripe rust fungi at maturity growth stage. Hence in this study, wheat cultivars of "Huixianhong" seedlings and "97148" mature plants were pre-treated with BTH and inoculated with *Pst* race CYR23. Disease index and control efficiencies evaluations indicated improvements in wheat resistance to *Pst* and induction of SAR by BTH. In "Huixianhong" wheat seedlings, resistance to *Pst* significantly increased and stripe rust disease index reduced by 29.69~49.77. Meanwhile stripe rust disease control efficiency in "Huixianhong" wheat seedlings after BTH treatment reached 90%. Optimum concentration and time interval of BTH pre-treatment tests also showed that 0.3 mmol·L^{-1} of BTH concentration and 6~7 days intervals between BTH treatment and *Pst* inoculation were the best. Furthermore, BTH-induced wheat resistance to *Pst* was noted to last at least 15 days after *Pst* inoculation. Mature "97148" wheat cultivar sprayed with different concentrations (0.1~1.0 mmol·L^{-1}) of BTH showed nominal fluctuations in disease index, but with much stronger wheat resistance to *Pst*. Meanwhile grain yield of 0.3 mmol·L^{-1} BTH-treated plants reached 675.32 kg·667m^{-2}, which was 19.3% higher than the control. The results also indicated that BTH sprayed at different wheat growth stages (e.g., tillering, pre-jointing and tillering/pre-jointing) had no influence on the efficiency of BTH-induced wheat resistance to *Pst*. Compared to the control, however, BTH treatment impacted disease index of *Pst* and grain yield of wheat at each different growth stage. Due to stronger seedling assays, BTH-induced wheat resistance to *Pst* in mature plants lasted at least 60 days. In conclusion therefore, the

* 高等学校学科创新引智计划(B07049)和西北农林科技大学校内专项(200701)资助

** 通讯作者: 康振生(1957—), 男, 教授, 主要从事病原物与寄主植物互作关系的细胞学和分子细胞学研究。E-mail: kangzs@nwsuaf.edu.cn
韩青梅(1968—), 女, 副研究员, 主要从事植物与病原菌互作关系的细胞学研究。E-mail: hanqm9@163.com

收稿日期: 2011−11−03 接受日期: 2012−05−10

study demonstrated that BTH induced wheat resistance to stripe rust fungi at both seedling and maturity stages. This finding was significant in controlling stripe rust disease of wheat and other field crops.

Key words　Wheat, *Puccinia striiformis*, Benzothiadiazole, Induced resistance, Growth stage, Disease index, Control effect
(Received Nov. 3, 2011; accepted May 10, 2012)

植物诱导抗病性(induced resistance)是指外界因子诱导后, 植物体内产生的对有害病原菌的抗性现象。诱导抗病性又可分为局部抗病性(local induced resistance)和系统抗病性(systemic acquired resistance, SAR)。前者是指诱发物处理或病原菌侵染后植物被处理或侵染部位在一段时间内保持对多种病原菌侵染的抗性增强现象, 而后者是指在局部诱导后非诱导部位也产生抗性增强的现象。其中, SAR 因持效期长、抗病谱广等倍受重视。小麦条锈病是我国小麦的重要病害。应用抗病品种和提高寄主植物抗病性是防治小麦条锈病最常用的途径。实践证明, 应用抗病品种防治小麦条锈病既经济有效、节省投资, 又有利于生态环境保护。但由于锈菌生理小种变异频繁及新毒性小种的不断出现, 品种抗锈性很容易丧失[1], 所以提高寄主植物自身的抗性来抵抗锈菌侵染是重要途径之一。1975 年 Johnson 和 Allen[2]初次报道了接种小麦条锈病菌无毒小种可以使条锈菌毒性小种延迟产孢且产孢量下降。Calonnec 等[3]也指出诱发接种后 2 d 挑战接种, 可降低小麦条锈菌的侵染率, 病斑面积减小, 但对产孢量无影响。肖悦岩等[4]先用小麦条锈菌非亲和小种接种, 然后在接种后不同时期用亲和性小种挑战接种, 结果发现有些组合抗病性增强, 而有些组合抗病性减弱, 诱发的是局部抗病性, 在诱发接种后 1~2 d 抗性表达最强。1991 年有研究应用植物低聚糖处理大田生长的小麦, 使之由高感变为中感, 提高了供试品种的抗条锈性[5]。

苯并噻二唑(benzothiadiazole, BTH), 商品名 BION, 为原汽巴–嘉基公司开发的第 1 个商品化植物抗病诱导剂, 能诱导多种作物对真菌、细菌和病毒病害产生系统获得抗性(SAR)[6–12], 且对植物本身毒性极低。例如, BTH 可诱发水稻产生诱导抗病性, 至少对稻瘟病、白叶枯病和纹枯病等病害有效[13–14], 且水稻苗期用BTH诱发处理产生的诱导抗病性对生长后期穗瘟病也表现出一定程度的抗性[13]。在小麦上 BTH 诱导的抗性可显著抵抗叶枯菌、叶锈菌和白粉菌, 但 BTH 是否能诱导小麦抵抗条锈菌的侵染危害目前鲜见报道。探索新型化合物 BTH 诱导小麦抗条锈病的研究无论是对于研究植物诱导抗病性, 还是对于研究小麦条锈病的防治都具有深远意义。本试验以 BTH(benzothiadiazole)作为化学诱导剂, 研究其诱导小麦对小麦条锈病产生的抗性作用, 为小麦条锈病的防治提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试材料

供试小麦品种为“辉县红”(感病)和“97148”(感病), 由西北农林科技大学植物病理研究所提供。

供试小麦条锈病菌(*Puccinia striiformis*)为当前田间流行小种 CYR32, 由西北农林科技大学植物病理研究所提供。在感病小麦品种“铭贤 169”上繁殖备用。

供试诱导剂: 苯并噻二唑(benzothiadiazole, BTH), 商品名 Bion™, 德国诺华作物保护公司(Novartis Crop Protection, Inc. Germany)生产。

1.2　温室试验

1.2.1　BTH 施用最佳浓度测定

将小麦品种“辉县红”的种子播种于装有沃土的小花盆里, 每盆播 20 粒种子。待幼苗长至约 2 叶 1 心期时(即麦苗第 2 片真叶长出 1/2 时)均匀喷施 BTH 药液, 使叶面全部湿润不致滴液为准, 以清水喷雾处理为对照。BTH 的浓度设为: 0.1 $mmol·L^{-1}$、0.2 $mmol·L^{-1}$、0.3 $mmol·L^{-1}$、0.4 $mmol·L^{-1}$、0.6 $mmol·L^{-1}$ 和 1.2 $mmol·L^{-1}$。施药后 5 d 接种小麦条锈菌 CYR32, 12 ℃保湿 24 h, 然后置温度 15~20 ℃, 光强为 8 000~10 000 lx, 16 h 光周期的温室中培养。15 d 后调查小麦条锈病的反应型、发病率(%)和严重度(%)。每个处理 3 盆, 试验重复 3 次。发病率为发病叶片数占调查叶片总数的百分率, 用以表示发病的普遍程度。严重度指病叶上条锈菌夏孢子堆所占据面积与叶片总面积的相对百分率, 用分级法表示, 设 1%、5%、10%、20%、40%、60%、80%和 100%共 8 级。叶片未发病, 记为“0”; 虽然已发病, 但严重度低于 1%, 记为“t”(微量)。目测估计严重度, 计算平均严重度。

反应型划分标准如下: 免疫型(0), 叶上不产生任何可见的症状; 近免疫型(0;), 叶上产生小型枯死斑, 不产生夏孢子堆; 高度抗病型(1), 叶上产生枯死条点或条斑, 夏孢子堆很小, 数目很少; 中度抗病型(2), 夏孢子堆小到中等大小, 较少, 其周围叶组织枯死或显著褪绿; 中度感病型(3), 夏孢子堆较

大、较多，其周围叶组织有褪绿现象；高度感病型(4)，夏孢子堆大而多，周围不褪绿。

平均严重度(%)=Σ(各严重度级别×各级病叶数)/调查总病叶数；苗期小麦病情指数=病叶率×病叶平均严重度×100；防治效果(%)=[(对照病情指数–处理病情指数)/对照病情指数]×100%。

1.2.2 BTH 处理小麦诱导抗锈性表达的最佳时间测定

待麦苗第 1 叶完全展平时，用 1.2.1 试验获得的最佳浓度 BTH 药液对小麦进行均匀喷雾，分别在 BTH 药液喷雾后 2 d、3 d、4 d、5 d、6 d、7 d、10 d 和 15 d 接种小麦条锈菌，保湿培养方法同 1.2.1，对于不同处理，分别在接种后 12 d 调查条锈病发病情况(同 1.2.1)，每处理 3 盆，试验重复 3 次。初步确定 BTH 诱导小麦抗锈性表达的最佳时间。

1.3 田间试验

试验地点设在西北农林科技大学农作一站，试验时间为 2005 年小麦生长季，供试小麦品种为“97148”，诱发品种为“辉县红”。

1.3.1 不同浓度 BTH 对小麦抗锈性的诱导作用

设 BTH 浓度分别为 0.1 mmol·L^{-1}、0.3 mmol·L^{-1}、0.5 mmol·L^{-1}、0.7 mmol·L^{-1} 和 1.0 mmol·L^{-1} 共 5 个处理，以清水为对照，随机区组排列，小区面积 6 m^2，每处理 3 次重复，共 18 个小区。用“辉县红”做诱发行，3 月 22 日诱发行接种小麦条锈菌 CYR32。3 月 23 日用 BTH 喷雾处理。在小麦拔节后期 4 月 20 日开始调查病害的发病情况。具体调查方法：调查时每个小区随机取 3 点(每点 30 株，共 90 株，每株调查旗叶和倒一叶的严重度)，计算出病情指数。成株期小麦病情指数=[∑(病级数×该级病叶数)/(总调查叶片数×最高级数)]×100。小麦成熟后小区单独收获、单独脱粒并考种测定千粒重和产量。

1.3.2 不同生育期喷施 BTH 对小麦抗锈性的诱导作用

设小麦分蘖期(3 月 23 日)、拔节期(4 月 5 日)、分蘖期+拔节期施用浓度为 0.3 mmol·L^{-1} 的 BTH 3 种处理，以喷清水作对照，每处理重复 3 次，小区面积 6 m^2，随机区组排列，3 月 22 日接种诱发行。接种后 1 个月(4 月 22 日)开始调查病害的发生情况，调查方法同 1.3.1，然后每隔 7 d 调查 1 次，直到小麦成熟。小麦成熟时单独收获、单独脱粒并考种测产。

1.4 数据处理

使用Microsoft Excel软件对调查数据进行分组统计，采用SAS软件的Duncan氏新复极差法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 BTH 诱导小麦苗期抗条锈病的浓度

用不同浓度的 BTH 喷雾处理 2 叶 1 心期小麦幼苗，结果发现，经 BTH 处理后的麦苗叶片上出现褪绿斑后，很快形成枯死斑，并且麦苗的发病程度随药剂浓度变化而变化。表 1 结果表明，不同浓度 BTH 喷雾处理均可使小麦对条锈病产生一定抗性。当 BTH 浓度为 0.1 mmol·L^{-1} 时，处理植株的病情指数和防治效果与对照以及其他浓度处理植株均有明显差异。BTH 浓度范围在 0.2~1.2 mmol·L^{-1} 时，不同处理间有差异，但与对照植株之间存在极显著差异。根据反应型、普遍率和平均严重度等综合评价指标，初步推测 BTH 处理后诱导抗性表达的最佳浓度为 0.3 mmol·L^{-1}。在试验中还发现 BTH 不但使第 1 叶产生抗锈性，也可以使未处理的第 2 叶和第 3 叶表现出一定抗锈性。

2.2 BTH 处理小麦诱导抗锈性表达的最佳时间

BTH 药液喷雾后 2 d、3 d、4 d、5 d、6 d、7 d、10 d 和 15 d 分别接种小麦条锈菌，分别在接种 12 d 后调查条锈病的发病情况。结果表明(表 2)，经 BTH 处理后，不同时间诱发接种小麦条锈菌的植株与对照植株相比，抗锈性均明显增强。从防治效果和反应型上，在 BTH 喷雾诱导后第 6~7 d 小麦诱导抗锈性表达最强，防治效果高达 93%以上，反应型为 1–2。

表 1 不同浓度 BTH 诱导苗期小麦“辉县红”抗条锈病的效果

Table 1 Effects of different concentrations BTH on stripe rust resistance of “Huixianhong” wheat seedling

BTH 浓度 Concentration of BTH (mmol·L^{-1})	反应型 Type of reaction	发病率 Percentage of disease (%)	平均严重度 Average severity (%)	病情指数 Disease index	防治效果 Control effect (%)
0 (CK)	3–4	78.85a	68.60a	54.09a	—
0.1	2–3	59.19b	41.22b	24.40b	54.89
0.2	1–2	52.54c	14.52d	7.63c	85.90
0.3	1–2	31.72e	13.62d	4.32c	92.01
0.4	1–2	34.07de	14.13d	4.81c	91.10
0.6	2–3	39.88d	16.28d	6.49c	88.00
1.2	2–3	48.33c	21.02c	10.16c	81.22

同列数据后不同字母者表示差异显著(P<0. 05)。下同。Values followed by different letters are significantly different at 0.05 level. The same below.

喷药后 15 d 时, 处理植株的病情指数为 4.85, 防治效果为 91.41%, 与对照相比仍具有明显差异, 说明 BTH 诱导小麦的抗锈性可以持续到 15 d 以上。综合反应型、发病率、平均严重度、病情指数以及防治效果等指标结果发现, 喷施浓度为 0.3 mmol·L^{-1} 的 BTH 6~7 d 后, 诱导抗性表达最强, 病情指数为 3.59~3.77, 防治效果高达 93.22%~93.59%。

2.3 田间喷施不同浓度的 BTH 对小麦抗锈性的诱导作用

田间小区试验结果表明, 不同浓度 BTH 处理之间对小麦抗锈性的诱导效果差异不显著, 但与未处理对照相比, 不论旗叶还是倒一叶在不同调查时期, 不同叶位的病情指数都显著低于对照。虽然灌浆后期(5 月 24 日)调查, BTH 处理的小麦条锈病病情指数急速上升, 特别是旗叶, 病情指数与对照差异不显著, 但后期发病对小麦产量无显著影响。不同浓度的 BTH 处理后小麦千粒重和产量明显高于未处理对照, 差异极显著。浓度为 0.3 mmol·L^{-1} BTH 诱导处理的小麦千粒重最重, 为 42.21 g, 产量最高达 675.32 kg·667m^{-2}, 增产 19.3%(表 3), 这一结果与温室试验中筛选最佳 BTH 诱导浓度结果相符。因此, 在后续的不同生育期诱导处理试验中, 选用 BTH 处理浓度为 0.3 mmol·L^{-1}。由此可见, BTH 对小麦具有明显的诱导抗锈性, 处理后可推迟病害的发生。

2.4 不同生育期田间喷施 BTH 对小麦抗锈性的诱导作用

不同生育期的小麦植株经 BTH 诱导处理后, 其病情指数之间无明显差异, 但在同一生育期中, BTH 处理后植株的病情指数与对照植株差异显著。5 月 24 日小麦条锈病的发病盛期调查, 分蘖期、拔节前期和分蘖期+拔节前期 3 个时期诱导处理的小麦倒一叶病情指数分别为 28.693、26.497 和 25.195, 防治效果分别为 43.07%、47.43%和 50.01%(表 4)。从产量性状上分析, BTH 诱导处理后小麦的千粒重明显高于对照, 产量较对照增产 13.4%~16.9%。可见, BTH 诱导田间成株期小麦, 抗锈性明显增强, 提高了小麦产量。试验还发现 BTH 诱导的小麦抗锈性的持效期较长, 5 月 24 日最后一次调查发病情况的时间与 3 月 23 日初次喷药的时间间隔达到了 62 d, 说明 BTH 诱导的小麦抗锈性的持效期可以达到 60 d 以上。

表 2　BTH 处理后不同间隔天数接种条锈菌对小麦“辉县红”抗病性的影响

Table 2　Effects of different interval time between BTH induction and challenge inoculation of *P. striiformis* in stripe rust resistance of “Huixianhong” wheat seedling

间隔时间 Interval time (d)	反应型 Type of reaction		发病率 Percentage of disease (%)		平均严重度 Average severity (%)		病情指数 Disease index		防治效果 Control effect (%)
	CK	BTH 处理 BTH treatment	CK	BTH 处理 BTH treatment	CK	BTH 处理 BTH treatment	CK	BTH 处理 BTH treatment	BTH 处理 BTH treatment
2	3–4	3	76.23	38.69	83.15	29.69	63.39	11.49	81.88
3	3–4	2–3	83.30	38.88	62.35	29.65	51.94	11.53	77.80
4	3–4	2–3	83.00	32.67	60.51	16.45	50.22	5.37	89.30
5	3–4	1–2	79.48	35.42	62.83	12.08	49.94	4.28	91.43
6	3–4	1–2	81.08	30.73	65.28	11.68	52.93	3.59	93.22
7	3–4	1–2	78.23	29.85	75.19	12.63	58.82	3.77	93.59
10	3–4	2	96.33	37.93	84.15	21.11	81.06	8.01	90.12
15	3–4	1–2	89.00	31.80	63.46	15.25	56.48	4.85	91.41

表 3　不同浓度 BTH 处理对不同叶位小麦条锈病病情指数和小麦“97148”产量以及千粒重的影响

Table 3　Effects of different BTH concentrations on disease index, 1000-grain weight and grain yield of different leaf position of “97148” wheat

BTH 浓度 BTH concentration (mmol·L^{-1})	病情指数 Disease index								千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Grain yield (kg·667m^{-2})	增产率 Yield-increasing rate (%)
	5 月 6 日 May 6th		5 月 12 日 May 12th		5 月 18 日 May18th		5 月 24 日 May 24th				
	旗叶 Arrow leaf	倒一叶 Top first leaf	旗叶 Arrow leaf	倒一叶 Top first leaf	旗叶 Arrow leaf	倒一叶 Top first leaf	旗叶 Arrow leaf	倒一叶 Top first leaf			
0 (CK)	1.193a	1.987a	4.481a	4.417a	21.461a	16.933a	57.452a	40.641a	40.09b	565.89b	—
0.1	0.591ab	0.685ab	1.909b	1.556b	11.042b	10.437b	41.295b	24.400b	41.69a	662.16a	17.0
0.3	0.109b	0.254b	0.926b	0.930b	12.659b	9.418b	46.159ab	23.932b	42.21a	675.32a	19.3
0.5	0.105b	0.187b	0.925b	0.907b	10.502b	8.189b	45.408ab	21.780b	41.93a	639.07a	12.9
0.7	0.018b	0.057b	0.556b	0.958b	9.963b	9.651b	37.845b	20.617b	42.12a	653.40a	15.5
1.0	0.026b	0.046b	0.414b	0.828b	9.338b	9.298b	43.554ab	27.263b	41.75a	672.25a	18.8

表 4 不同生育期 BTH 处理后对“97148”小麦不同叶位的病情指数以及产量和千粒重的影响

Table 4 Effects of BTH treatment at different growth stages on disease index of different leaf, 1000-grain weight and grain yield of wheat “97148”

处理时期 Treated time	病情指数 Disease index								防治效果 Control effect (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Grain yield (kg·667m^{-2})	增产率 Yield-increasing rate (%)
	5 月 6 日 May 6th		5 月 12 日 May 12th		5 月 18 日 May 18th		5 月 24 日 May 24th					
	旗叶 Arrow leaf	倒一叶 Top first leaf	旗叶 Arrow leaf	倒一叶 Top first leaf	旗叶 Arrow leaf	倒一叶 Top first leaf	旗叶 Arrow leaf	倒一叶 Top first leaf				
对照 Control	2.238a	2.396a	3.803a	3.074a	26.06a	17.75a	60.867a	50.402a	—	39.97b	555.50b	—
分蘖期 Tillering	0.002b	0.018b	0.447b	0.500b	5.808b	4.024b	42.205b	28.693b	43.07	41.33a	630.18ab	13.4
拔节前期 Former elongation	0.028ab	0.057b	0.915b	0.773ab	7.985b	5.88b	39.066b	26.497b	47.43	42.08a	649.03a	16.8
分蘖期+拔节前期 Tillering and former elongation	0.009b	0.013b	0.218b	0.402b	4.205b	4.54b	38.832b	25.195b	50.01	41.73a	649.46a	16.9

3 讨论与结论

20 世纪 60 年代初, Ross[15]研究烟草花叶病毒时提出了植物系统获得抗病性(systemic acquired resistance, SAR)的概念, 由此产生了对植物抗病诱导剂或激活剂的研究。这些诱导剂对病菌本身并不产生毒杀作用, 而是诱导植物体产生抗病性[16]。目前, 我国对 BTH 诱导效果在果蔬类作物中研究较多, 小麦中研究较少。王阳等[17]研究表明, BTH 可以诱导小麦抗锈性产生, 但在田间试验中还未得到证实。

本研究结合温室苗期试验和田间成株期试验, 结果表明, BTH 可诱导小麦苗期和成株期抗锈性的表达, 使小麦抗条锈性明显增强。BTH 最佳的诱导浓度为 0.3 mmol·L^{-1}, 在 BTH 喷雾处理后第 6~7 d 小麦诱导抗锈性表达最强, 随后虽然诱导抗性逐渐减弱但诱导抗性效果可持续 60 d 以上。经 BTH 处理后的小麦, 不仅病情指数有所降低, 其产量也会明显增加。

温室试验中, 不同稀释浓度的 BTH 诱导效果无明显差异, 但结合各项评价指标, 确定 0.3 mmol·L^{-1} 为最佳诱导浓度, 这一结果与陈荣丽等[18]BION 诱导小麦幼苗抗叶锈病的研究结果相符。诱导抗性表达最强的 BTH 喷雾处理和诱发接种条锈菌的时间间隔为 6~7 d, 这与黄雪玲等[19]BTH 诱发小麦对白粉病的抗性研究结果相似。BTH 处理 2 d 后就开始有比较明显的诱导效果, 而且这种诱导效果可持续到 60 d 以上, 再一次验证了与其他作物研究结果的相似性[20]。田间试验结果表明, 不同浓度以及小麦不同生育期喷施 BTH 处理之间差异不显著, 这可能是由于田间成株期小麦诱导抗性易受温度、光照、水分、病菌侵染时间等不可控因素的影响, 但与对照相比差异极显著, 发病较轻, 产量也有所提高。BTH 诱导抗锈性产生可能与参与调控抗性的基因表达相关, 但需要进一步证实。同时, 本试验还发现 BTH 的系统诱抗性, 说明在小麦植株体内存在一系列复杂的信号转导过程。

BTH 具有抗性谱广、持效期长和系统抗性等特点, 被作为新兴的诱抗剂在未来农业生产中具有广阔前景。但是 BTH 诱导机理及抗病机制, 对植物是否有毒害作用, 相对研究较少。今后进一步解决这些问题, 对新型诱抗剂的研制、开发及生产应用有重大推动作用。

致谢 感谢所有对本研究提供帮助的老师和学生!

参考文献

[1] 康振生, 李振岐. 洛夫林 10 常温致病新菌系的发现[J]. 西北农学院学报, 1984(4): 18–28

[2] Johnson R, Allen D J. Induced resistance to rust diseases and its possible role in the resistance of multiline varieties[J]. Annals of Applied Biology, 1975, 80(3): 359–363

[3] Calonnec A, Goyeau H, de Vallavieille-Pope C. Effects of induced resistance on infection efficiency and sporulation of *Puccinia striiformis* on seedlings in varietal mixtures and on field epidemics in pure stands[J]. European Journal of Plant Pathology, 1996, 102(8): 733–741

[4] 肖悦岩, 武丽芬, 王卓然, 等. 小麦条锈病菌非亲和性小种诱发小麦抗锈性研究[J]. 植物病理学报, 2003, 33(3): 254–260

[5] 李振崎, 康振生. 我国小麦抗条锈病育种研究进展[C]//21 世纪小麦遗传育种展望——小麦遗传育种国际学术讨论会文集. 北京: 中国农学会, 2001

[6] Friedrich L, Lawton K, Ruess W, et al. A benzothiadiazole derivative induces systemic acquired resistance in tobacco[J]. The Plant Journal, 1996, 10(1): 61–70

[7] Abo-Elyousr K A M, Hashem M, Ali E H. Integrated control of cotton root rot disease by mixing fungal biocontrol agents and resistance inducers[J]. Crop Protection, 2009, 28(4): 295–301

[8] Bovie C, Ongena M, Thonart P, et al. Cloning and expression

analysis of cDNAs corresponding to genes activated in cucumber showing systemic acquired resistance after BTH treatment[J]. BMC Plant Biology, 2004, 4: 15

[9] Gorlach J, Volrath S, Knauf-Beiter G, et al. Benzothiadiazole, a novel class of inducers of systemic acquired resistance, activates gene expression and disease resistance in wheat[J]. The Plant Cell, 1996, 8(4): 629–643

[10] Morris S W, Vernooij B, Titatarn S, et al. Induced resistance responses in maize[J]. Mol Plant-Microbe Interact, 1998, 11(7): 643–658

[11] Cole D L. The efficacy of acibenzolar-S-methyl, an inducer of systemic acquired resistance, against bacterial and fungal diseases of tobacco[J]. Crop Protection, 1999, 18(4): 267–273

[12] Godard J F, Ziadi S, Monot C, et al. Benzothiadiazole (BTH) induces resistance in cauliflower (*Brassica oleracea* var botrytis) to downy mildew of crucifers caused by *Peronospora parasitica*[J]. Crop Protection, 1999, 18(6): 397–405

[13] 葛秀春, 宋凤鸣, 郑重, 等. BTH 诱发水稻对稻瘟病的系统获得抗性[J]. 浙江农业学报, 1999, 11(6): 311–314

[14] 宋凤鸣, 葛秀春, 郑重, 等. 苯并噻二唑诱发水稻对白叶枯病的系统获得抗性[J]. 中国水稻科学, 2001, 15(4): 323–326

[15] Ross A F. Systemic acquired resistance induced by localized virus infections in plants[J]. Virology, 1961, 14(3): 340–358

[16] 董汉松. 植物诱导抗病性原理和研究[M]. 北京: 科学出版社, 1995

[17] 王阳, 王大浩. BTH 和 INA 诱导小麦抗条锈病性的研究[J]. 中国植保导刊, 2004(8): 5–8

[18] 陈荣丽, 刘太国, 黄云, 等. BION 诱导小麦幼苗抗叶锈病研究[J]. 植物保护学报, 2006, 33(2): 122–126

[19] 黄雪玲, 黄丽丽, 康振生, 等. BTH 对小麦产生白粉病抗性的诱导作用[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 3(8): 78–80

[20] 王文娟, 赵建庄, 魏朝俊, 等. 苯并噻二唑(BTH)对苹果抗斑点落叶病的诱导[J]. 果树学报, 2008, 25(3): 362–366

欢迎订阅 2013 年《农业现代化研究》

《农业现代化研究》是由中国科学院主管、中国科学院农业研究委员会和中国科学院亚热带农业生态研究所主办的农业综合性学术刊物, 科学出版社出版。其办刊宗旨是探索和研究具有中国特色的农业现代化理论、战略、方针、道路及我国农业现代化进程中的有关科学技术、经济、生态、社会各方面协调发展问题, 促进国内外学术交流与合作, 为我国农业可持续发展和农业现代化建设服务。它是国内惟一以农业现代化为主题内容, 以自然科学为主, 兼融人文社会科学为特色的学术性、综合性农业学术期刊。注重以宏观和综合为主, 宏观战略与微观技术相结合, 综合性与专业性相结合, 自然科学与社会科学相结合, 理论与实际相结合的原则。主要刊登农业发展战略和农业基础科学及其交叉学科的基础理论研究和应用研究方面的学术论文、科研报告、研究简报等。内容包括: 农业发展战略、农业可持续发展、区域农业、生态农业、农业生物工程、信息农业、农村生态环境、循环农业、农业经济、农业产业化、农业系统工程、农业机械化、高新技术应用、资源利用与保护、国外农业等。

《农业现代化研究》从 1992 年起一直被列入全国中文核心期刊, 并编入《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊网、万方数据库、中国科学引文数据库、中国科技期刊数据库和 CABI 文摘库、Agrindex 等国际权威检索系统。曾先后被评为中国科学院优秀期刊、湖南省一级期刊和优秀期刊。

《农业现代化研究》为双月刊, 逢单月出版。每册 8 个印张 128 页, 大 16 开国际版本, 每册定价 12.00 元。向国内外公开发行, 国内邮发代号 42–46, 全国各地报刊发行局(所)均可订阅; 国外由中国国际图书贸易总公司负责发行, 代号: BM6665。主要读者对象为农业院校师生、各级领导干部和管理人员及广大农业科技工作者。

编辑部地址: 湖南省长沙市芙蓉区远大二路 1071 号 中国科学院亚热带农业生态研究所, 邮编: 410125; 联系电话: 0731-84615231; E-mail: nyxdhyj@isa.ac.cn