

文章编号: 1008-5394 (2009) 03-0052-04

植物激活剂苯并噻二唑 (BTH) 的研究进展*

范文静, 崔新仪, 王学利^{通讯作者}

(天津农学院 园艺系, 天津 300384)

摘要: 苯并噻二唑 (BTH) 是第一个成功商品化的植物激活剂 Bion 的有效成分。BTH 是一种典型的植物抗病诱导剂, 离体条件下无杀菌活性, 但能够诱导植物的免疫活性, 起到抗病、防病的作用。现对苯并噻二唑的特点、诱导植物的种类、抗病机制等进行了归纳总结, 分析了目前苯并噻二唑应用中存在的问题, 探讨了其进一步的发展前景。

关键词: 植物激活剂; 苯并噻二唑; 研究进展

中图分类号: S432

文献标识码: A

Progresses of Plant Activator Benzothiadiazole

FAN Wen-jing, CUI Xin-yi, WANG Xue-li^{Communication Author}

(Department of Horticulture, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

Abstract: Benzothiadiazole (BTH) is the active ingredient of Bion, the first commercial plant activator. BTH is a typical plant disease-resistance activator. It doesn't have fungicidal activity, but can induce immune activity in vivo and play important roles in disease-resistance and disease-prevention. Some problems of BTH are summarized, such as its characteristics, plant species induced by BTH, the disease-resistance mechanism and so on. Also, the problems existed in the application of BTH are analyzed. Then, the further development prospects are discussed.

Key words: plant activator; benzothiadiazole; research progress

在植物病虫害的防治过程中, 化学农药发挥了十分重要的作用。但是, 化学农药不仅污染环境, 而且容易使病虫产生抗药性, 所以受到越来越多的限制。人们不得不寻找那些对环境安全的物质来解决防治植物病虫害的问题。植物激活剂和植物激活蛋白是新近发现的能诱导植物产生抗病性的物质, 这两类物质能诱导和激活植物对病虫害的抗性。植物激活剂中的苯并噻二唑 (BTH) 性质稳定, 对黄瓜、甜瓜、小麦等作物的病害均有较好的诱导抗病效果。各国的研究人员对苯并噻二唑进行了大量研究, 并已取得了令人瞩目的成就。

1 苯并噻二唑的特点

当前已知具有应用潜力的、能够诱导果蔬产生系统获得性抗 SAR 的诱导剂有很多种, 新型植物激活剂——苯并噻二唑就是其中的一种。在离

体条件下, 苯并噻二唑本身并没有杀菌活性, 但能诱导植物体内的防御机制, 起到抗病、防病的作用, 而且不会对环境产生负面影响。目前, 已发现 BTH 对马铃薯早疫病、香蕉炭疽病、菜豆锈病、厚皮甜瓜的黑斑病、番茄和辣椒的细菌性角斑病、葡萄灰霉病、黄瓜蔓枯病等果蔬的多种病害均有较好的诱导抗性效果^[1]。

苯并噻二唑与传统农药相比具有如下特点:

①本身无离体的杀菌或抑菌作用或仅有很低的杀菌或抑菌活性; ②作用机制复杂; ③诱导产生的抗病性具有持效和广谱的特性; ④诱导产生的抗病效果存在滞后性; ⑤植物抗病激活剂不会对病原菌产生选择压力, 不易产生抗药性; ⑥对不具有致病性的腐生菌无影响, 有利于维持生态平衡和进行环境保护^[2]。

* 收稿日期: 2009-04-18

作者简介: 范文静 (1985-), 女, 内蒙古海拉尔人, 硕士在读, 主要从事果树生理生态方面的研究。联系电话: (022) 23781301。

通讯作者: 王学利 (1955-), 男, 天津市人, 教授, 本科, 主要从事植物保护方面的教学与科研工作。联系电话: (022) 23781301。

2 苯并噻二唑的研究现状

2.1 诱导植物体产生抗病性

研究人员发现:经 BTH 处理过的葡萄叶片具有抗病性,而同一株上未经处理的叶片同样产生系统抗病性;用 BTH 处理葡萄植株的一侧,植株的另一侧也可以产生 56% 的抗病效果;用 BTH 处理基部的葡萄叶片,可以诱导植株上部未处理叶片产生抗病性,并且这种抗病性在植株体内是均匀诱导的,不受叶片在植株上位置的影响。但是,用 BTH 处理葡萄根系却无法诱导叶片产生抗病性^[3]。用 BTH 处理黄瓜黄化苗,以研究其对黄瓜黑星病(*Cladosporium cucumerinum*)的诱导抗病性,结果发现,0.5~0.7 mmol/L 的 BTH 有不同程度的诱导效果。其中,0.5 mmol/L BTH 的处理效果最明显,病情指数由 90.58% 降至 28.43%,发病率由 100.00% 下降到 58.82%^[4]。0.1~0.7 mmol/L BTH 均能诱导黄瓜对霜霉病的抗性。其中,0.3~0.7 mmol/L BTH 的处理效果较好,最高可达 68.60%,处理后 3 d 诱导抗病性明显,并可持续 9 d 以上^[5]。0.5~0.7 mmol/L 的 BTH 对黄瓜炭疽病有不同程度的诱导效果。0.3 mmol/L BTH 为最佳处理浓度,诱导效果达到 84.94%。处理后第三天表现出最佳诱导抗性,并且诱抗持效期在 21 d 以上^[6]。BTH 能诱导苹果产生系统获得性抗性。当诱导浓度为 150 mg/L 时,可使病情指数由对照的 26.34% 下降到 16.87%,诱抗持效期可达 15 d^[7]。在大棚内,对甜瓜连续两次使用 BTH(75 mg·L⁻¹),第一次在甜瓜的开花初期,第二次在座果期,对甜瓜白粉病和细菌角斑病的防治效果可达 60% 以上^[8]。在甜瓜(皇后和早金)的 3 个不同生长期施用不同浓度的 BTH(100 mg/L 和 50 mg/L),均能有效抑制甜瓜白粉病和细菌性角斑病;在甜瓜的 3 个不同生长期连续施用 BTH,对甜瓜白粉病和细菌性角斑病的防治效果最好;而在采前一周喷洒 BTH 和在 3 个不同生长期连续施用 BTH,对甜瓜白粉病和细菌性角斑病的病情指数没有显著影响^[9]。对盆栽甜瓜植株喷施 BTH 诱导剂后,再接种甜瓜白粉菌,测定其对甜瓜的诱导效果,结果表明,这种诱导剂对甜瓜有明显的诱导作用。BTH 的最佳诱导浓度为 50 mg/L,诱导效果可达 86.6%。在最佳诱导浓度下,BTH 的诱抗持效期至少可达 17 d。在 2~8 叶期,BTH 处理有良好的诱导效果,但差异不显著^[10]。用 BTH 分别处理幼苗期和成株期的小麦后,再接种小麦白粉病菌,结果表明:

用 BTH 处理幼苗期小麦后,小麦白粉病的病情指数较对照有显著降低。BTH 诱导小麦幼苗对白粉病产生抗性的最佳浓度为 0.20~0.25 mmol/L。对于成株期的小麦,在分蘖中期和后期用 0.20 mmol/L BTH 喷雾,对小麦白粉病的防治效果达 60.82%。这说明,BTH 可以诱导小麦对白粉病产生系统获得抗性,故而可用于田间白粉病的防治^[11]。还有研究发现,BTH 浸种可诱发水稻 3~4 叶期对稻瘟病的抗性,抽穗前处理叶片可显著降低水稻穗颈瘟的发病率^[12]。

2.2 影响光合作用和同化物的分配

BTH 不仅在诱导植物产生抗病性方面有显著效果,对植物的光合作用和同化物的分配也有一定影响。用 BTH 处理甜瓜叶片(第三叶)和新生叶片(第五叶)后,叶片的净光合速率、叶绿素含量和气孔导度显著提高,延长了叶片的光合寿命,延缓了叶片中叶绿素含量、净光合速率和气孔导度的下降趋势。BTH 处理有利于干物质向产品器官分配,从而显著提高甜瓜的产量^[13]。

2.3 改善果实品质

BTH 在改善果实品质方面也具有一定的作用。BTH 处理能够提高甜瓜果实可溶性固形物的含量,虽然对单果重量、单位面积的产量、果实硬度影响较小,但改善了果实色泽,减少了果皮裂纹^[14]。

3 苯并噻二唑的抗病机制

目前对植物激活剂诱抗机制的研究主要集中在物理机制和生理生化机制两方面。

首先,植物激活剂的诱导可使植物发生细胞壁木质化、木栓化,产生酚类物质和钙离子沉积等多种防卫反应^[15]。细胞壁在感染病原菌后的木质化是寄主抵抗侵染反应的一种特性。木质化作用是在细胞壁、胞间层和细胞质等不同部位产生和积累木质素类似物,从而抵抗真菌的侵入,或使侵入的菌丝只局限在少数的表皮细胞内。许多学者的研究结果也认为,木质化反应是植物抵抗病原菌侵染最有效的手段之一^[16-18]。

其次,用激活剂诱导后,植物能迅速合成多种酚类化合物。酚类物质是合成植保素、木质素的前体,本身及其氧化产物(醌)都对病原物有很强的毒性。酚类物质不仅可作为病原物的拮抗剂来抑制孢子的萌发和菌丝生长,在某些情况下还可抑制病原物产生毒素及酶或使其钝化,使感

染组织发黑,形成病斑。Faoro F 和 Maffi D 等研究了 BTH 诱导大麦对白粉病产生抗病性的机制。结果表明: BTH 能够诱导活性氧和酚类物质的积累,营造一个不利于真菌扩散的环境。BTH 更主要的作用体现在它均匀地提高了过氧化氢在植株叶片组织中的含量,并且诱导细胞产生类似于过敏性的应答机制^[19]。

第三, BTH 可诱导植株产生抗病性。Kamal AEAM 和 Mohamed HMA 等研究了 BTH 对洋葱抗叶枯病的影响。结果表明,用 BTH 处理洋葱植株后,其体内的苯丙氨酸解氨酶活性、过氧化物酶活性以及酚类物质的含量有了明显提高,这是 BTH 诱导植株产生抗病性的生理机制之一^[20]。

第四,苯并噻二唑可以诱导植物表达病程相关蛋白。植物病程相关蛋白是指植物在胁迫环境或逆境中产生的蛋白,它的产生被认为是植物产生诱导抗病性的生化机制之一。植物在自然衰老期间出现的少量蛋白或伤口诱发的大量蛋白常常伴随着对蛋白的反应,故也属于病程相关蛋白。最近几年,有关病程相关蛋白的研究进展迅速。目前,对于病程相关蛋白的分类仍未有定论。国内,王金生认为不应将那些特征已很清楚的防卫基因的产物(如过氧化物酶)归为病程相关蛋白^[21]。他依据氨基酸序列、细胞内的定位等将病程相关蛋白分为 5 个家族,即 PR1—PR5。蔡新忠等认为,具有生物学活性的病程相关蛋白主要有 8 类^[22]。1998 年,植物病程相关蛋白的国际研讨会在法国举行。之后, Van Loon 提议扩展病程相关蛋白家族,将其增加至 14 个家族,新增防御素、硫素和脂类转移蛋白等 3 个蛋白^[23]。随着更多病程相关蛋白被发现,划分的类别也会越来越多。随着对病程相关蛋白的研究越来越广泛和深入,病程相关蛋白终将被研究清楚,这将为植物抗病性研究开辟一条新途径。

4 植物激活剂在研究和应用方面存在的问题及发展前景

在诱导植物产生抗病性方面,不同植物种类所需的 BTH 的最佳施用浓度不同,同一种植物在使用 BTH 的过程中,诱抗效果也会受施用次数、施用时期等因素的影响。在实际的农业生产中,应予以考虑。只有选择最佳的施用方法,才能取得理想的防治效果。

目前,我国利用植物激活剂诱导植物产生抗

病性的研究主要集中在生理生化以及物理机制的研究上,有关分子机制的研究还不够系统、深入。对植物激活剂诱抗作用分子机制的研究将完善人们对植物激活剂的认识,促进对其的科学使用。

植物激活剂在诱抗方面的应用比较多,相关研究也较为成熟;但对植物光合作用和同化物分配的影响研究、对果实品质的影响研究还不够深入,在这些方面的深入研究将开拓植物激活剂更加广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 刘新华,潘永贵,祖鹤,等. BTH 诱导果蔬抗病性机理研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (34): 15 053—15 054.
- [2] 范志金,刘秀峰,刘凤丽,等. 植物抗病激活剂诱导植物抗病性的研究进展[J]. 植物保护学报, 2005, 32 (1): 87—92.
- [3] Perazzolli M, Dagostin S, Ferrari A, et al. Induction of systematic resistance against *Plasmopara viticola* in grapevine by *Trichoderma harzianum* T39 and benzothiadiazole[J]. *Biological Control*, 2008, 47 (2): 228—234.
- [4] 王晨芳,马青,冯东昕,等. BTH 和 K_2HPO_4 诱导黄瓜抗黑星病研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33 (5): 69—72.
- [5] 蔡洪生,王晨芳,马青,等. BTH 和 K_2HPO_4 诱导黄瓜抗霜霉病研究[J]. 西北农业学报, 2007, 16 (1): 95—97.
- [6] 王晨芳,马青,杜虎平,等. BTH 诱导黄瓜抗炭疽病效果初探[J]. 中国农学通报, 2005, 21 (5): 337—339.
- [7] 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.
- [8] 王伟,唐文华,黄永,等. BTH 对厚皮甜瓜抗病性的诱导作用研究[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5 (5): 48—53.
- [9] 毛晓英,张玉岭,李茂盛,等. BTH 对新疆甜瓜抗病性的诱导研究[J]. 新疆农业科学, 2005, 42 (3): 158—161.
- [10] 侯辉,朱建兰,周红平,等. BTH 和水杨酸 (SA) 对甜瓜抗白粉病的诱导作用[J]. 果树学报, 2006, 23 (5): 736—739.
- [11] 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, 33 (8): 78—80.

- [12] 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.
- [13] 李喜娥, 陈年来, 王春林, 等. BTH 和 SA 处理及白粉菌接种对甜瓜叶片光合特性的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27 (8): 1 643—1 649.
- [14] 李学文, 姜明, 冯作山, 等. BTH 处理对哈密瓜品质产量及抗叶部病害的影响[J]. 植物生理科学, 2007, 23 (2): 226—230.
- [15] 李振歧. 植物免疫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 1—89.
- [16] 李洪连, 王守正. 黄瓜对炭疽病诱导抗性的初步研究 II 诱导抗病性机制的研究[J]. 植物病理学报, 1993, 23 (4): 327—330.
- [17] 宋凤鸣. 氟乐灵诱发棉苗对枯萎病的诱导抗性机制[J]. 植物病理学报, 1993, 23 (2): 114—117.
- [18] 冯杰. 棉株体内几种生化物质与抗枯萎病之间的关系的研究[J]. 植物病理学报, 1991, 21 (4): 291—297.
- [19] Faoro F, Maffi D, Cantu D, et al. Chemical-induced resistance against powdery mildew in barley: the effects of chitosan and benzothiadiazole[J]. *Biocontrol*, 2008, 53 (2): 387—401.
- [20] Kamal AEAM, Mohamed HMA, Aly AAD, et al. Enhanced onion resistance against stemphylium leaf blight disease, caused by *Stemphylium vesicarium*, by di-potassium phosphate and benzothiadiazole treatments[J]. *Plant Pathology Journal*, 2008, 24 (2): 171—177.
- [21] 王金生. 分子植物病理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 10—247.
- [22] 蔡新忠, 宋凤鸣, 郑重. 植物病程相关蛋白[J]. 植物生理学通讯, 1995, 3 (2): 129—136.
- [23] Van Loon LC, Van Strien EA. The families of pathogenesis-related proteins, their activities and comparative analysis of PR-1 type proteins[J]. *Physiological and Molecular Plantpathology*, 1999, 55: 85—97.

(上接第35页)

点按荷载箭头方向向下画垂直于基线的直线至E点(g、E两点连线的长度与该处集中荷载大小相等)。从A点出发, 经过A→a→b→c→d→e→f→g→E, 得到剪力轮廓线图, 见图2中的(d)图。即可得该结构的剪力图, 与面积法的结果相同。

由本例可以看出, 对于荷载较多、较复杂的梁, 用面积法作内力图比较简便, 尤其是在计算弯矩图的极值时。如果用截面法求极值, 要考虑梁在该截面处左侧或右侧的荷载, 利用平衡方程求弯矩; 而用面积法只通过计算三角形的面积就求出了极值, 非常简便。

此法也能用于作多跨静定梁及刚架的弯曲内力图^[2]。在对多跨静定梁作图时, 首先在中间铰处将梁拆开, 分为基本部分及附属部分。然后, 计算支座反力。计算时, 先由附属部分开始计算, 再求基本部分。支座反力求得后, 即可分别作内力图, 最后联于同一基线上, 即得原梁的内力图。当对

每部分作内力图时, 即可用面积法绘制。

4 结语

受弯构件是工程实际中最常用的一种构件, 每一种受弯构件的截面尺寸、配置钢筋都是根据内力的大小和所用材料的性质来决定的。所以, 无论是在教学过程中, 还是在实际工程中, 快捷、准确地绘制内力图都是非常重要的, 而面积法刚好可以满足这一要求。

参考文献:

- [1] 苏翼林. 材料力学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1994: 90—102.
- [2] 龙驭球, 包世华主编. 结构力学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1996: 32—44.