

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0409

尉春雪, 苏浩天, 张晓宇, 何文菡, 郑大桢, 尹淑霞. 外源水杨酸对草地早熟禾抗褐斑病的诱导与抗病基因 *PR1* 和 *NPR1* 的表达的影响. 草业科学, 2019, 36(5): 1249-1254.

WEI C X, SU H T, ZHANG X Y, HE W H, ZHENG D C, YIN S X. Effects of exogenous salicylic acid on the resistance of Kentucky bluegrass to brown patch and expression of *PR1* and *NPR1* resistance genes. Pratacultural Science, 2019, 36(5): 1249-1254.

## 外源水杨酸对草地早熟禾抗褐斑病的诱导与抗病基因 *PR1* 和 *NPR1* 的表达的影响

尉春雪, 苏浩天, 张晓宇, 何文菡, 郑大桢, 尹淑霞

(北京林业大学林学院, 北京 100083)

**摘要:** 为了探究外源水杨酸 (SA) 对草地早熟禾 (*Poa pratensis*) 抗褐斑病的诱抗效果, 本研究将草地早熟禾品种午夜 (Midnight) 分为 3 组, 用  $0.05 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SA 和立枯丝核菌进行处理, 测定草坪草发病率、病情指数, 计算诱抗效果, 同时检测相关抗病基因 *PR1*、*NPR1* 表达情况。结果表明, 外源 SA 可以显著 ( $P < 0.05$ ) 降低草地早熟禾褐斑病的发病率和病情指数, 对褐斑病的诱抗效果最高达 53%。在喷施 SA 及接种后, 抗病基因 *PR1* 和 *NPR1* 相对表达量均显著 ( $P < 0.05$ ) 升高。

**关键词:** 外源 SA; 草地早熟禾; 褐斑病; 发病率; 病情指数; 诱抗效果; 抗病基因 *PR1* 和 *NPR1*

中图分类号: S688.4 文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2019)05-1249-06

### Effects of exogenous salicylic acid on the resistance of Kentucky bluegrass to brown patch and expression of *PR1* and *NPR1* resistance genes

WEI Chunxue, SU Haotian, ZHANG Xiaoyu, HE Wenhan, ZHENG Dacheng, YIN Shuxia  
(Forestry College of Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** To explore the effect of external salicylic acid (SA) on the resistance of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*) to brown patch, Kentucky bluegrass variety 'Midnight' was divided into three groups and treated with  $0.05 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SA and *Rhizoctonia solani*. The percent of disease infection and disease index were measured, and the efficacy of resistance induced was calculated. The relative expression of disease resistance genes *PR1* and *NPR1* was assessed. The results showed that external SA could significantly ( $P < 0.05$ ) decrease the plant infection percent and disease index of brown patch on Kentucky bluegrass, and the highest efficacy of resistance induced by SA was 53%. After spraying SA and inoculation, the relative expression of *PR1* and *NPR1* increased significantly ( $P < 0.05$ ).

**Keywords:** external SA; Kentucky bluegrass; brown patch; percent of disease infection; disease index; efficacy of resistance; disease resistance genes *PR1* and *NPR1*

**Corresponding author:** YIN Shuxia E-mail: [yinsx369@bjfu.edu.cn](mailto:yinsx369@bjfu.edu.cn)

草坪作为城市绿地的重要组成部分, 在城市生态系统中发挥着重要作用。与其他植物相比, 草坪由于定期修剪, 使得病原菌更易侵染, 因此草坪病害发生更严重、更普遍。提高草坪抗病性也

收稿日期: 2018-07-02 接受日期: 2018-10-15

基金项目: 国家自然科学基金“空间诱变草地早熟禾矮化突变体矮化机理研究 (31302016)”

第一作者: 尉春雪 (1996-), 女, 山东烟台人, 在读本科生, 研究方向为草坪草育种、草坪有害生物防治。E-mail: 1537657023@qq.com

通信作者: 尹淑霞 (1973-), 女, 北京朝阳人, 教授, 博士, 研究方向为草坪草育种、草坪有害生物防治。E-mail: yinsx369@bjfu.edu.cn

是草坪科学研究的重点和难点。

褐斑病是草坪的一种重要土传真菌病害，也是所有草坪病害中分布最广的病害之一<sup>[1]</sup>。该病几乎能侵染所有已知的草坪草品种，具有病原物复杂、发病率高、传染迅速、危害严重和反复发作等特点，在整个北京地区冷季型草坪上普遍发生，发病率高达 80% 以上<sup>[2]</sup>。

水杨酸 (salicylic acid, SA) 是非生物源植物抗病激活剂，能诱导多种植物对多种真菌、细菌及病毒病害产生抗性，且具有高效、广谱、对环境无害、使用简单、成本低廉等优点，在植物抗病反应中起着非常重要的作用<sup>[3]</sup>。有研究表明，SA 可诱导苜蓿 (*Medicago sativa*) 对霜霉病产生抗性<sup>[4]</sup>，诱导水稻 (*Oryza sativa*) 幼苗抗稻瘟病<sup>[5]</sup> 和白叶枯病<sup>[6]</sup>，诱导高羊茅 (*Festuca arundinacea*) 抗弯孢霉叶斑病<sup>[7]</sup>，诱导黄瓜 (*Cucumis sativus*) 抗霜霉病<sup>[8]</sup>、诱导玉米 (*Zea mays*) 抗大斑病<sup>[9]</sup>，诱导月季 (*Rosa chinensis*) 抗黑斑病<sup>[10]</sup>，诱导匍匐翦股颖 (*Agrostis stolonifera*) 抗镰刀菌枯萎病<sup>[11]</sup>，诱导车前 (*Plantago asiatica*) 抗菌核病<sup>[12]</sup>，诱导苹果 (*Malus pumila*) 抗斑点落叶病<sup>[13]</sup> 等。在草坪草中，外源喷施水杨酸的研究多集中于其对草坪草耐盐、抗旱、耐热等逆境胁迫的效果，对其诱导草坪草抗病性的研究还很少。

草地早熟禾 (*Poa pratensis*) 是我国北方地区应用最广泛的草坪草种之一，具有耐寒、青绿期长、坪观质量高等优点。因立枯丝核菌 (*Rhizoctonia solani*) 侵染引起的褐斑病是草地早熟禾的重要病害之一，该病常造成草坪坪观质量下降甚至草坪枯死<sup>[14]</sup>。研究表明，植物在与病原物共同进化过程中，主要形成了被动和主动两类抗病类型，其中主动抗病型主要是通过分子抗病物质来实现。Guo 等<sup>[15]</sup> 研究表明 C3H 型锌指蛋白在烟草 (*Nicotiana tabacum*) 对立枯丝核菌抗性中起正调控作用。殷萍萍<sup>[16]</sup> 研究得出结缕草 (*Zoysia japonica*) CPI 基因能抑制立枯丝核菌体内蛋白酶，从而抑制其生长；富亮氨酸重复受体蛋白激酶 (*LRR-RLKs*) 基因编码的 LRR 蛋白可直接或间接识别病菌效应子，激活相应的防卫反应。

本研究通过对草地早熟禾施用外源 SA，并接种立枯丝核菌，观察其诱导草地早熟禾抗褐斑病的效果，检测相关抗病基因表达情况，探讨外源 SA

对草地早熟禾褐斑病诱抗效果及分子调控机理，为防治草地早熟禾褐斑病及草坪草抗病育种提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试材料

在北京林业大学草坪试验站选取健康、成熟的草地早熟禾品种午夜 (*Poa pratensis* ‘Midnight’) 的草皮 (草坪草高度 4 cm，所用土壤为壤土且养分充足，建植 1 a)，2017 年 6 月 10 日移栽到 40 盆直径约 15 cm 的花盆中，室外培养，每天进行浇水，9 月中旬施过一次复合肥。

水杨酸 SA 由天津市光复精细化研究所生产，立枯丝核菌由北京林业大学草坪研究所提供，植物总 RNA 提取试剂盒购于 E.Z.N.A 公司，反转录试剂盒购于北京全式金生物技术有限公司，荧光定量用 UltraSYBR Mixture 试剂盒购于 CWBIO 公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 喷施 SA 与接种处理

先通过预试验确定外源 SA 对午夜褐斑病的最佳诱抗浓度为  $0.05 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。而后挑选健康、生长一致的早熟禾 12 盆。设 3 个处理：A 处理为每盆喷施  $0.05 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SA 30 mL 并在 3 d 后接种立枯丝核菌 (SA+接菌)；B 处理是每盆喷等量清水并在 3 d 后与 A 组一起接种立枯丝核菌 (仅接菌)；C 处理是与 A 组同时外施 SA，但不进行接菌处理 (仅 SA 处理)。每处理 4 次重复，而后置于保鲜袋中封口进行保湿 (相对湿度 70%) 培养 24 h。

#### 1.2.2 立枯丝核菌接种方法

将储存于本实验室的立枯丝核菌菌丝体与高温灭菌的高羊茅种子在密闭的培养瓶中共培养 3 周，待立枯丝核菌侵染了高羊茅种子后，将种子以  $30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  的量均匀撒在盆栽的草地早熟禾草坪上进行接种。接种在 SA 喷施 3 d 后进行，A、B 处理接种等量的感菌种子，C 处理不接种。而后将草坪草置于人工气候箱中进行培养，昼夜温度为  $35 \text{ }^\circ\text{C}/25 \text{ }^\circ\text{C}$ ，光暗时间 16 h : 8 h，相对湿度 70%。

### 1.3 指标测定

#### 1.3.1 诱导抗病效果观察

接种后每天观察草坪草发病情况，统计发病植株数量，每盆随机挑选 20 个叶片，按照病叶等级

分级标准<sup>[17]</sup>, 根据感病面积分为5级, 未感病记为0, 感病面积1%~20%为1级, 21%~40%为2级, 41%~60%为3级, 61%~80%为4级, 81%~100%为5级。按照如下公式计算发病率、病情指数和诱抗效果。

发病率 = (发病植株数 / 总株数) × 100%;

病情指数 =  $100 \times \sum(\text{各级病叶数} \times \text{各级代表值}) / (\text{调查总叶数} \times \text{最高级代表值})$ ;

诱抗效果 = (B 处理病情指数 - A 处理病情指数) / B 处理病情指数 × 100%。<sup>[18]</sup>

### 1.3.2 抗病基因表达量检测

在 SA 喷施前 ( $T_0$ ) 和喷施后第 1 天 ( $T_1$ )、第 3 天即病原菌接种前 ( $T_2$ )、病菌接种后第 3 天 ( $T_3$ )、第 4 天 ( $T_4$ )、第 5 天 ( $T_5$ ), 分别取样并提取叶片组织总 RNA, 检测抗病相关基因 *PRI*、*NPRI* 表达量的变化。具体为提取各样品总 RNA 后进行反转录, 方法参照反转录说明书 (北京全式金生物技术有限公司, Code:AT-311), 获得 cDNA 第一链后将其用 ddH<sub>2</sub>O 稀释至 80~100 ng·μL<sup>-1</sup> 置于 -20 °C 冰箱保存, 供下一步荧光定量反应使用。荧光定量反应中内参基因选用草地早熟禾 18S 基因, 待测抗病基因选用草地早熟禾 *PRI* 和 *NPRI* 基因, 通过 Primer Premier 5.0 软件设计特异 PCR 引物, 得到 18S、*PRI*、*NPRI* 上下游引物, 3 组引物序列如表 1 所列。

表 1 引物序列  
Table 1 Primer sequence

引物编号 Primer code	引物序列 Primer sequence (5'-3')
18S-F	GATAGGAAGAGCCGACAT
18S-R	ATACGAACCGTGAAAGCG
<i>PRI</i> -F	CGCTACGCCCGCTCCC
<i>PRI</i> -R	GCCCCTCGTCCACCCA
<i>NPRI</i> -F	CAAGGAAGGGCAGACTAA
<i>NPRI</i> -R	GCAGCGATGTGAAGAACA

荧光定量反应方法参照荧光定量说明书 (CW BIO, Code: CW0957M)。反应体系为 2x Ultra-SYBR Mix 10 μL, Forward Primer 与 Reverse Primer 各 1 μL, cDNA 1 μL, ddH<sub>2</sub>O 7 μL, 共 20 μL。反应程序为 95 °C 预变性 10 min; 95 °C 变性 10 s, 55 °C 退火 30 s, 72 °C 延伸 32 s, 重复 40 个循环。熔解曲线分析与数据分析使用 CFX Manager 软件, 使用

2<sup>-ΔΔCt</sup> 方法进行数据分析。

### 1.3.3 数据处理

用 SPSS 16 单因素方差分析法对 3 组的发病率、病情指数、*PRI* 相对表达量、*NPRI* 相对表达量进行方差分析, LSD 方法进行比较, Excel 2007 进行作表和制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 发病率

接种立枯丝核菌后的第 3 天, A 处理和 B 处理草坪草开始感病 (图 1), 而 C 处理草坪草因未接种, 没有出现感病现象。从接种后第 3 天草坪草发病, 随着时间的推移, A 处理与 B 处理的发病率均呈现上升趋势, 且添加了 SA 的 A 处理组显著低于 B 处理组 ( $P < 0.05$ )。至接种后第 6 天, B 处理发病率达 47%, A 处理发病率达 30.4%, 之后 A、B 处理发病率均明显上升, 草坪质量开始急剧下降, 至接种后第 9 天, A 处理发病率达到 66.2%, B 处理发病率达到 81.3%。由此可以说明, 外施 SA 能显著减轻草地早熟禾午夜病的发病率, 但其作用时间有限, 接种后第 7 天 A 处理发病率达到 52.5%, 草坪质量已经不可接受。

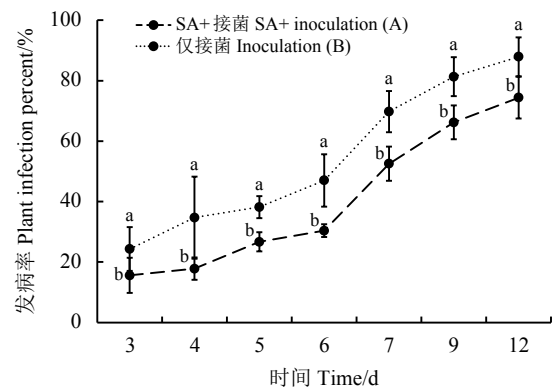


图 1 接种后午夜草地早熟禾发病率

Figure 1 Plant infection percent of Kentucky bluegrass 'Midnight' post inoculation

不同小写字母表示处理 A 与 B 间差异显著 ( $P < 0.05$ )。图 2 同。

Different lowercase letters indicate significant differences between A and B treatments at the 0.05 level; similarly for the Figure 2.

### 2.2 病情指数

A 处理与 B 处理草坪草的病情指数都随着时间的推移而升高 (图 2), 但在试验期间, A 处理的病情指数始终显著低于 B 处理 ( $P < 0.05$ )。至接种后

第 12 天, A 处理的病情指数为 20.8, 显著低于 B 处理的 34.5 ( $P < 0.05$ )。由此说明, 外施 SA 处理不仅可以减轻草地早熟禾褐斑病的发生, 还可以显著降低其病情的严重程度。

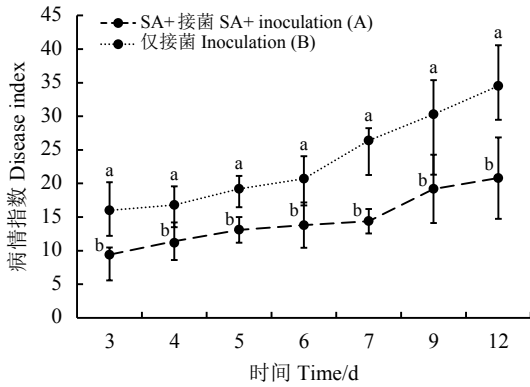


图 2 病原菌接种后草地早熟禾的病情指数

Figure 2 The disease index of Kentucky bluegrass 'Midnight' post inoculation

### 2.3 诱抗效果

SA 对草地早熟禾褐斑病的诱抗效果在接种后第 7 天, 达 53%(图 3), 诱抗效果先降低后升高又降低, 除第 6 天外, 其余总体差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 由此可见, 在发病期间, SA 对草地早熟禾褐斑病的诱抗效果较明显。

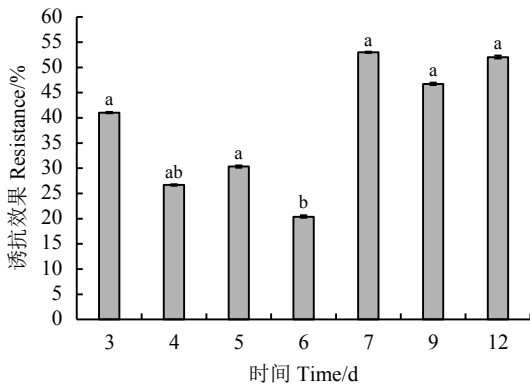


图 3 病菌接种后 SA 对草地早熟禾午夜褐斑病的诱抗效果  
Figure 3 Efficacy of resistance induced by SA to brown patch in Kentucky bluegrass 'Midnight' post pathogen inoculation

不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant differences between treatments at the 0.05 level.

### 2.4 SA 诱导后抗病基因表达量变化

A、C 处理喷施 SA 后的第 1 天 ( $T_1$ ), 草地早熟禾 *PR1* 基因的相对表达量是喷施 SA 前 ( $T_0$ ) 的 2.7 倍 (图 4), 之后, A 处理先降低后升高再降低, C 处理

逐渐降低且与喷施 SA 前 ( $T_0$ ) 差异不显著 ( $P > 0.05$ )。A、B 处理, 在接菌后第 3 天 ( $T_3$ ) *PR1* 基因相对表达量均达到最高, 分别为  $T_0$  时的 3.5 倍 ( $P < 0.05$ ) 和 3.2 倍 ( $P < 0.05$ ), 与  $T_2$  即接种前相比差异显著 ( $P < 0.05$ ), 可见立枯丝核菌的侵染促进了草地早熟禾 *PR1* 基因的表达, 这也是植物应对病原菌侵染的一种防御反应。随后二者的 *PR1* 基因相对表达量虽有所下降, 但在  $T_5$  即接种后第 5 天时仍高于  $T_0$ , 可见立枯丝核菌的侵染使得草地早熟禾 *PR1* 基因持续高表达, 从而引起植物体内与之相关的基因表达发生一系列变化。

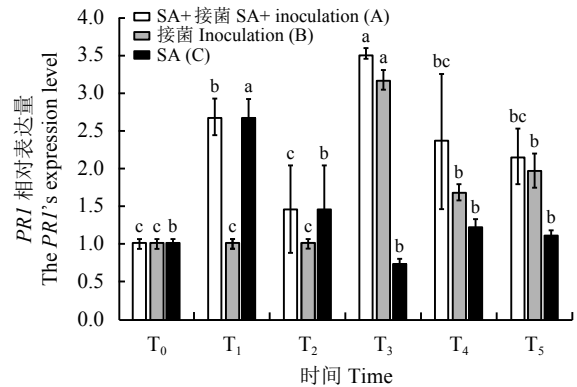


图 4 草地早熟禾午夜基因 *PR1* 相对表达量

Figure 4 The relative expression of *PR1* in Kentucky bluegrass 'Midnight'

不同小写字母表示相同处理组在不同时间相对表达量的差异显著性 ( $P < 0.05$ )。  $T_0$ , SA 喷施前;  $T_1$ , SA 喷施后第 1 天;  $T_2$ , SA 喷施第 2 天, 即病原菌接种前;  $T_3$ , 病菌接种后第 3 天;  $T_4$ , 病菌接种后第 4 天;  $T_5$ , 病菌接种后第 5 天。下同。

Different lowercase letters in the same treatment indicate significant differences among the different times at the 0.05 level;  $T_0$ , Before spraying SA;  $T_1$ , The first day after spraying SA;  $T_2$ , The second day after spraying SA, before inoculation;  $T_3$ , The third day after inoculation;  $T_4$ , The fourth day after inoculation;  $T_5$ , The fifth day after inoculation; similarly for the following figures.

A、C 处理在  $T_1$  时, *NPRI* 基因相对表达量显著提高 ( $P < 0.05$ ), 达到  $T_0$  的 2 倍 (图 5)。之后, C 处理 *NPRI* 基因相对表达量逐渐降低, 且在  $T_3$ 、 $T_5$  时显著 ( $P < 0.05$ ) 低于  $T_0$ 。A 处理 *NPRI* 基因相对表达量呈显著 ( $P < 0.05$ ) 上升趋势, 并在  $T_5$  时达到最大, 为喷施前 ( $T_0$ ) 的 5.2 倍。B 处理在接菌后 *NPRI* 基因表达量呈逐渐下降趋势, 在  $T_4$ 、 $T_5$  时 *NPRI* 基因相对表达量分别为接种前 ( $T_2$ ) 的 40% 和 70%, 差异显著 ( $P < 0.05$ ), 说明在立枯丝核菌侵染下, 午夜 *NPRI* 基因表达量下降, 导致病害严重发



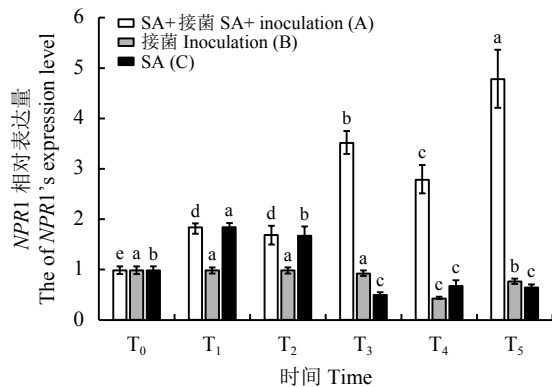


图 5 草地早熟禾午夜 *NPR1* 基因相对表达量

Figure 5 The relative expression of *NPR1* in Kentucky bluegrass 'Midnight'

生。可见 *NPR1* 基因的表达与植物抗病性提高密切相关, A 处理在 SA 喷施后接种病原菌, *NPR1* 基因的表达持续上升, 说明外施 SA 在一定程度上提高了植物的抗病性。

### 3 讨论和结论

当植物遭遇逆境胁迫时, 体内会产生大量自由基

等有毒物质, 损害植物细胞结构以致植物死亡<sup>[19]</sup>。SA 是诱导植物抗性的信号分子, 可通过诱导植物相关抗病基因表达量的提高使植物体产生系统获得性抗性。抗病基因和防卫反应基因是植物中参与抗性反应的两大类基因, 其中病程相关蛋白 (PRP) 是防卫反应基因编码的产物, 在植物抗病性和系统获得性抗性中发挥着重要作用<sup>[20]</sup>。*PRI* 就是 17 类 PRP 中的一类<sup>[21]</sup>, 在多种植物中已有报道, 例如王坤等<sup>[22]</sup> 研究表明 *PRI* 基因是小麦 (*Triticum aestivum*) 病程相关蛋白基因, 本研究也得出在立枯丝核菌侵染的情况下, *PRI* 基因相对表达量持续显著升高 ( $P < 0.05$ )。Cao 等<sup>[23]</sup> 研究表明 *NPR1* 基因表达与植物抗病性提高有关, 缺失 *NPR1* 基因的拟南芥对病原微生物感染的敏感性提高, 本研究也得出午夜喷施 SA 并接种立枯丝核菌后, *NPR1* 基因相对表达量持续显著升高 ( $P < 0.05$ )。

综上, 喷施 SA 后接种立枯丝核菌会使 *PRI*、*NPR1* 基因持续高表达, 对病害具有一定的抗性, 在草地早熟禾抵抗病害胁迫中起到积极作用。

### 参考文献 References:

- [1] 董爱香, 胡林, 赵美琦. 草地早熟禾不同品种对褐斑病抗性的差异. 草地学报, 2003, 11(1): 38-41, 57.  
DONG A X, HU L, ZHAO M Q. Resistance against brown patch of different *Poa pratensis* cultivar. Acta Agrestia Sinica, 2003, 11(1): 38-41, 57.
- [2] 孙建华, 王彦荣, 柴琦. 28 个草地早熟禾品种坪用性状评价. 草业科学, 2003, 20(12): 18-21.  
SUN J H, WANG Y R, CHAI Q. Turf use quality characteristic assessment for 28 varieties of *Poa pratensis*. Pratacultural Science, 2003, 20(12): 18-21.
- [3] 高琪昕, 胡新喜, 王欢妍. 水杨酸诱导植物抗病性机制的研究进展. 中国马铃薯, 2014, 28(4): 238-242.  
GAO Q X, HU X X, WANG H Y. Research progress in mechanism of plant disease resistance induced by salicylic acid. Chinese Potato Journal, 2014, 28(4): 238-242.
- [4] 孙涛, 曹致中, 马晖玲. 水杨酸诱导苜蓿对霜霉病抗性的研究. 甘肃农业大学学报, 2006, 41(3): 61-64.  
SUN T, CAO Z Z, MA H L. Study on resistance of alfalfa to downy mildew induced by SA. Journal of Gansu Agricultural University, 2006, 41(3): 61-64.
- [5] 蔡新忠, 郑重, 宋凤鸣. 水杨酸对水稻幼苗抗瘟性的诱导作用. 植物病理学报, 1996, 26(1): 7-12.  
CAI X Z, ZHENG Z, SONG F M. Effect of salicylic acid on the induction of resistance to rice seedling blast. Acta Phyto Pathologica Sinica, 1996, 26(1): 7-12.
- [6] 刘凤权, 王金生. 水杨酸诱导水稻幼苗抗白叶枯病研究. 植物保护学报, 2000, 27(1): 47-52.  
LIU F Q, WANG J S. Study on the effect of salicylic acid on the resistance of rice seedlings to leaf blight. Journal of Plant Protection, 2000, 27(1): 47-52.
- [7] 古燕翔, 王代军. 外源诱导物水杨酸对草坪型高羊茅弯孢霉叶病抗性影响的研究. 中国草地, 2003, 25(4): 57-61, 72.  
GU Y X, WANG D J. Effect of external salicylic acid on tall fescue on *Festuca arundinacea* Schreb. Grassland of China, 2003, 25(4): 57-61, 72.
- [8] 孙艳, 杨淑英. 水杨酸诱发黄瓜幼苗对霜霉病抗性的研究. 植物病理学报, 2004, 34(2): 187-189.

- SUN Y, YANG S Y. Effects of SA on resistance of cucumber seedlings to downy mildew. *Acta Phyto Pathologica Sinica*, 2004, 34(2): 187-189.
- [9] 张莹. 水杨酸诱导玉米抗大斑病的机理研究. 保定: 河北农业大学硕士学位论文, 2007.  
ZHANG Y. Study on the mechanism of salicylic acid in maize's resistance to macular disease. Mater Thesis. Baoding: Hebei Agricultural University, 2007.
- [10] 金一锋. 外源性水杨酸诱导月季对黑斑病抗性的研究. 哈尔滨: 东北农业大学硕士学位论文, 2013.  
JIN Y F. Study on resistance of Chinese rose to black spot disease induced of exogenous salicylic acid. Mater Thesis. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013.
- [11] 房媛媛, 马晖玲. 2,3-丁二醇与水杨酸诱导匍匐翦股颖对镰刀菌枯萎病的抗性. *草原与草坪*, 2015, 35(3): 83-87.  
FANG Y Y, MA H L. 2,3- Butanediol and salicylic acid induced resistance of creeping bentgrass to fusarium wilt. *Grassland and Lawn*, 2015, 35(3): 83-87.
- [12] 向妙莲, 汪杰, 阙海勇, 蒋军喜, 罗友强, 刘冰, 宋水林. 水杨酸诱导车前草抗菌核病研究. *江西植保*, 2009, 32(3): 111-113, 116.  
XIANG M L, WANG J, QUE H Y, JIANG J X, LUO Y Q, LIU B, SONG S L. Study on the effect of salicylic acid on the antibacterial nuclear disease of plantain. *Jiangxi Plant Protection*, 2009, 32(3): 111-113, 116.
- [13] 钟小刚, 薛应钰, 梁巧兰, 徐秉良, 范祥梅. 水杨酸和壳聚糖诱导苹果叶片对斑点落叶病抗性的研究. *植物保护*, 2013, 39(4): 20-24.  
ZHONG X G, XUE Y Y, LIANG Q L, XU B L, FAN X M. Studies on resistance of salicylic acid and chitosan to leaf spot and defoliate disease in apple leaves. *Plant Protection*, 2013, 39(4): 20-24.
- [14] BURPEE L, MARTIN B. Biology of rhizoctonia species associated with turgrasses. *Plant Disease*, 1992, 76(2): 112-117.
- [15] GUO Y H, YU Y P, WANG D. GhZFPI, a novel CCCH-type zinc finger protein from cotton, enhances salt stress tolerance and fungal disease resistance in transgenic tobacco by interacting with GZIRD21A and GZIPR5. *New Phytologist*, 2009, 183(4): 62-75.
- [16] 殷萍萍. 日本结缕草响应立枯丝核菌侵染及其转录组学研究. 北京: 北京林业大学硕士学位论文, 2015.  
YIN P P. Study on the transcriptome of zoysiagrass in response to the infection of *Rhizoctonia solani*. Master Thesis. Beijing: Beijing Forestry University, 2015.
- [17] NAKANO Y, ASADAK. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 1981, 22(2): 867-880.
- [18] 周丽霞, 易克贤, 马振宇. 苜蓿霜霉病的接种鉴定. *甘肃畜牧兽医*, 1998, 140(3): 44.  
ZHOU L X, YI K X, MA Z Y. Identification of alfalfa downy mildew inoculation. *Gansu Animalland Veterinary Science*, 1998, 140(3): 44.
- [19] ALLEN R D. Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiology*, 1995, 107(4): 1049-1054.
- [20] 张岗, 李依民, 张毅. 条锈菌诱导的小麦病程相关蛋白 TaPR10 基因的克隆及特征分析. *中国农业科学*, 2009, 42(1): 110-116.  
ZHANG G, LI Y M, ZHANG Y. Cloning and characterization of a pathogenesis related protein gene TaPR10 from wheat induced by stripe rust pathogen. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(1): 110-116.
- [21] SZALONTAI B, JAKAB G. Differential expression of PRLIPs, a pathogenesis-related gene family encoding class 3 lipase-like proteins in *Arabidopsis*. *Acta Biologica Hungarica*, 2010, 61(1): 156-157.
- [22] 王坤, 王海燕, 刘大群. 叶锈菌与‘TcLr19’小麦互作体系中 *PRI* 基因的克隆及分析. *河北农业大学学报*, 2012, 35(2): 1-6.  
WANG K, WANG H Y, LIU D Q. Cloning and analysis of a *PRI* gene from ‘TcLr19’ wheat in the defense responses to *Puccinia triticina*. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2012, 35(2): 1-6.
- [23] CAO H, BOWLING S A, GORDON A S. Characterizaion of an *Arabidopsis* mutant that is nonresponsive to inducers of systemic acquired resistance. *Plant Cell*, 1994, 6(8): 1583-1592.

(责任编辑 张瑾)