

转 SOD 基因对烟草抗旱性和相关生理指标的影响

覃 鹏^{1,3}, 刘飞虎^{2*}, 孔治有³, 刘叶菊³

(1. 安徽农业大学 农学院, 安徽 合肥 230036; 2. 云南大学 生命科学学院, 云南 昆明 650091; 3. 保山师范高等专科学校, 云南 保山 678000)

摘要: 以近等基因系烟草(非转基因品系、转 Fe-SOD 基因品系和转 Mn-SOD 基因品系)为材料,研究了盆栽条件下转 SOD 基因对烟草抗旱性的影响。结果显示:外源 Mn-SOD 基因的导入能切实提高烟草抗旱能力,而导入的 Fe-SOD 基因虽能提高烟草体内的 SOD 活性水平,但不能提高烟草的抗旱性,说明 Mn-SOD 可能与烟草的抗旱性关系较大;当遭受干旱胁迫时,所导入的 2 种 SOD 基因可能在某种程度上影响了植物体内 MDA、蛋白质、光合作用以及脯氨酸等的正常生理代谢;脯氨酸、MDA、蛋白质等生理指标的变化在抗旱与不抗旱品系之间并没有表现出明显的规律性,因此能否作为抗旱育种的重要指标应该通过更多的试验来确定。

关键词: SOD 基因; 基因工程; 抗旱性; 烟草

中图分类号: Q945 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2006)06-0621-05

Effect of transferred SOD gene on drought resistance and related physiological parameters in tobacco

QIN Peng^{1,3}, LIU Fei-hu^{2*}, KONG Zhi-you³, LIU Ye-ju³

(1. Agricultural College, Anhui Agriculture University, Hefei 230036, China; 2. Colleges of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China; 3. Baoshan Teachers College, Baoshan 678000, China)

Abstract: This study aimed at revealing the effect of transferring SOD gene on drought resistance of pot-cultured tobacco near-isogenic lines (i. e. non-transgenic line, Mn-SOD gene transgenic line and Fe-SOD gene transgenic line). The results showed that the transferred Mn-SOD gene in tobacco could actually improve the drought resistance of this crop. On the contrary, the transferred Fe-SOD gene could evidently increase SOD activity in tobacco leaves, but did not improve its drought resistance. So we deduce that Mn-SOD may have closer relation to drought resistance of tobacco. The two transferred SOD genes possibly affected the normal physiological metabolism of some physiological and biochemical matters such as malondialdehyde, protein, photosynthesis and proline under water stress. The changes of physiological parameters such as proline, MDA and protein did not show distinct relations with drought resistance of the tested tobacco lines, more experiments are needed to identify the importance of these parameters in selection of drought tolerant tobacco cultivars and assessment of drought resistance of tobacco.

Key words: SOD gene; gene engineering; drought resistance; tobacco

植物在逆境条件下会产生大量活性氧类而危及正常的生理活动,由于超氧化物歧化酶能专一地清

除生物氧化中的超氧阴离子自由基,因而具有重要的生理调节功能,人们甚至利用基因工程的方式将

* 收稿日期: 2005-06-29 修回日期: 2005-12-12

基金项目: 云南省引进人才培养基金“转基因 SOD 高表达烟草近等基因系利用价值研究”[Supported by the Foundation for Talent Introduction of Yunnan Province]

作者简介: 覃鹏(1977-),男,湖北利川人,土家族,博士研究生,从事植物生理生化研究,(E-mail)qinpeng77@163.com。

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: plantbreed2004@yahoo.com.cn)

外源 SOD 基因转入特定的植物体内来研究其作用机制和生理功能。前人通过对不同材料的研究表明, SOD 活性水平的高低与植物的抗旱性有非常紧密的联系, 但对其作用机制的认识却有较大差异, 有的认为逆境条件下 SOD 活性升高的相对抗旱性也较强, 而另一些人则持相反看法(王建华等, 1989; 蒋明义等, 1996; 韩阳等, 1995; 张秀海等, 2001), 此外研究不同种类 SOD 对植物抗旱性的影响则不多见。本文研究转 Fe-SOD 或 Mn-SOD 基因烟草在干旱胁迫下的反应和适应性, 明确 SOD 种类和活性水平与抗旱性的关系, 探讨 SOD 提高植物抗旱性的初步机制, 最终为烟草的抗旱育种提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料为从国外引进的烟草近等基因系, 即非转基因品系 (non-transgenic line, 简写 Non)、转 Fe-SOD 基因品系 (Fe-SOD gene transgenic line, 简写 Fe-SOD) 和转 Mn-SOD 基因品系 (Mn-SOD gene transgenic line, 简写 Mn-SOD)。

1.2 方法

试验于 2002 年在昆明进行, 使用 30 cm × 25 cm (直径 × 高) 塑料盆栽烟草苗, 15-16 叶期开始试验, 各处理停止浇水而对照正常浇水, 处理和对照均设置 5 个重复。在停止浇水的第 3~10 天, 每天观测烟株受旱后的形态表现, 据此划分不同的旱害等级: (1) 轻微旱害 (下部叶片萎蔫, 次日早上能够恢

复), (2) 轻度旱害 (下部叶片萎蔫, 次日早上不能恢复), (3) 次中度旱害 (中部叶片萎蔫, 次日早上能够恢复), (4) 中度旱害 (中部叶片萎蔫, 次日早上不能恢复), (5) 次重度旱害 (上部叶片萎蔫, 次日早上能够恢复), (6) 重度旱害 (上部叶片萎蔫, 次日早上不能恢复), (7) 永久旱害 (复水后仍不能恢复)。在停止浇水的第 6 天、第 8 天和第 10 天, 以及复水后的第 2 天和第 4 天取烟株自顶端以下第 5 片功能叶 (避开主脉) 进行生理生化指标测定。参照刘祖祺等 (1994)、张志良 (1990) 和李如亮 (1998) 等的方法, 用 NBT 光还原法测定 SOD 活性、愈创木酚法测定 POD 活性、硫代巴比妥酸法测定丙二醛和可溶性糖含量、考马斯亮蓝 (G-250) 法测定蛋白质含量、茚三酮法测定脯氨酸含量、电导率法测定叶片质膜透性、LI-6400 便携式光合仪测定光合作用、干重法测定叶片含水量, 试验过程中根据需要对上述方法作适当改进。

2 结果与分析

2.1 正常情况下各种生理生化指标的比较

供试的 3 个近等基因烟草品系在正常管理条件下其生理生化指标中除 SOD 活性外均没有显著差异 (表 1)。这一方面说明所导入的 2 种 SOD 基因都已在受体体内得到正常表达, 另一方面说明除 SOD 外 3 个品系之间没有其它生理上的显著差异, 因此各品系的抗旱性差异只能是由所导入 SOD 基因的种类和表达水平的不同而引起的, 因为 3 个品系之间遗传上的差异很小, 是近等基因系。

表 1 正常情况下品系间的生理生化指标比较

Table 1 Physiological and biochemical indices of near isogenic lines under normal conditions

生理生化指标 Physiological and biochemical indices	近等基因系 Near isogenic lines		
	Non	Fe-SOD	Mn-SOD
SOD 活性 SOD activity (u/mg protein)	35.60	65.14**	55.90*
POD 活性 POD activity (u/mg protein)	2.83	4.10	4.60
MDA 含量 Malondiadehyde content ($\mu\text{mol/g DW}$)	0.038	0.042	0.040
蛋白质含量 Protein content (mg/g DW)	108.86	109.66	102.79
可溶性糖含量 Soluble sugar content (mmol/g DW)	0.35	0.38	0.33
脯氨酸含量 Proline content (mg/g DW)	4.03	3.28	3.68
质膜透性 Cell membrane permeability (%)	17.68*	13.51	13.34
净光合速率 Net photosynthetic rate ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	17.89	18.28	17.93

注: * 表示 $p \leq 0.05$; ** 表示 $p \leq 0.01$ 。 Note: * indicates $p \leq 0.05$; ** indicates $p \leq 0.01$.

2.2 干旱胁迫下烟草受害情况

3 个近等基因系在干旱处理的前 3 天受害程度相同, 都表现为轻度旱害; 此后转 Fe-SOD 基因品系

和非转基因品系随着处理时间的延长表现一致, 到处理第 5 天即出现重度旱害并一直持续到处理结束; 而转 Mn-SOD 基因品系从处理第 4 天开始受害

明显较轻,直到处理第 7 天才出现重度旱害(表 2)。复水后各品系从外观上都能迅速恢复正常,但生长势和植株生物量(资料略)均较对照显著降低。表 2 说明转 Mn-SOD 基因品系的抗旱性相对较强,而转 Fe-SOD 基因品系抗旱能力与非转基因品系基本相当。

表 2 干旱处理下烟草受害级别

Table 2 Injury degrees of tobacco under drought stress

近等基因系 Near isogenic lines	不同处理时间下的受害级别 Degrees of drought injury in different days							
	3d	4d	5d	6d	7d	8d	9d	10d
Non	2	5	6	6	6	6	6	6
Fe-SOD	2	5	6	6	6	6	6	6
Mn-SOD	2	3	4	5	6	6	6	6

注:数字越大受害越重;2 为轻度旱害(下部叶片萎蔫,次日早上不能恢复),6 为重度旱害(上部叶片萎蔫,次日早上不能恢复)。

Note: Drought injury increased as the digitals increased; 2 means mild drought injury, i. e. base leaves wilted and did not recover until the next morning; 6 means very severe drought injury, i. e. upper leaves wilted and did not recover until the next morning.

2.3 干旱胁迫下烟草生理生化指标的变化

干旱处理促使烟草叶片 SOD 和 POD 活性升高(图 1、2)。对于 SOD 活性,转 Fe-SOD 基因品系在干旱处理过程中先降低而后逐渐升高,其它 2 个品系都是先升高而后逐渐回落,复水 4 天后所有品系都略高于对照而尚不能完全恢复到正常水平。POD 活性的变化与 SOD 略有差异,随着处理时间的延长逐渐升高,而在恢复过程中缓慢降低。图 1、2 的结果表明转 Mn-SOD 基因品系最能维持其稳定,因此提高 Mn-SOD 活性水平有助于提高干旱胁迫下这 2 种酶的稳定性。品系间呈现上述差异的原因可能是由于烟草叶片内不同种类的 SOD 活性水平之间的差异引起的。

丙二醛(MDA)和脯氨酸含量在干旱胁迫下的表现有很大差异(图 3、4)。MDA 在轻度干旱胁迫时变化较小,在中度干旱胁迫下其含量逐渐升高,而重度干旱胁迫下则迅速降低,甚至在复水 4 d 后仍不能恢复到正常水平。2 个转基因品系的 MDA 含量在干旱胁迫下增加的趋势显著比非转基因品系强烈,这表明所导入的外源 SOD 基因可能相对加剧了膜脂过氧化程度,从而在一定程度上破坏了机体的某种平衡。

几个品系的脯氨酸含量在干旱处理过程中变化趋势基本一致,说明干旱处理有大幅度提高烟草叶片脯氨酸含量的作用,其中转 Fe-SOD 基因在干旱处理时促使烟草脯氨酸含量升高的作用非常显著,而转

Mn-SOD 基因则几乎没有这种作用。由此可见脯氨酸含量的提高与品系的抗旱性可能没有太大关系。

可溶性糖和蛋白质在干旱处理中所表现出来的变化趋势相反,前者表现为升高而后者表现为降低(图 5、6)。转 Fe-SOD 基因品系的可溶性糖含量在重度胁迫下的变化远比其它 2 个品系剧烈,高达对照的 270% 以上;转 Mn-SOD 基因品系的蛋白质含量在复水后能迅速回升,而另 2 个品系还需要一段缓冲时间才能逐渐恢复。由此可见,通过转基因的方式增加 Fe-SOD 的活性水平能在重度干旱胁迫时提高可溶性糖含量,而转入 Mn-SOD 基因则可促进恢复期间蛋白质含量的迅速恢复。

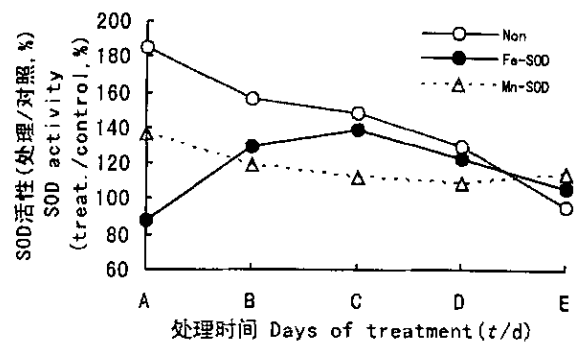


图 1 干旱处理对烟草叶片 SOD 活性的影响

Fig. 1 Effect of drought on SOD activity of tobacco leaves

A, B, C: 干旱 6, 8, 10 天; D, E: 复水 2, 4 天。下同。
A, B, C: Drought 6, 8, 10 days; D, E: Re-watered for 2, 4 days. The same as followed.

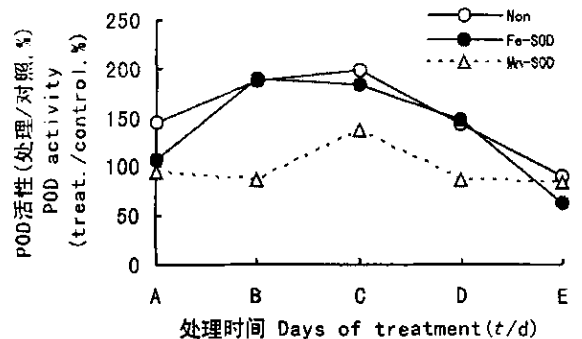


图 2 干旱处理对烟草叶片 POD 活性的影响

Fig. 2 Effect of drought on POD activity of tobacco leaves

转 SOD 基因对生物膜功能的影响相对较小(图 7)。3 个近等基因系的生物膜透性在整个干旱处理过程中都比对照显著升高,而且随处理时间的延长,升高的幅度不断增大,到处理的第 10 天甚至达到对

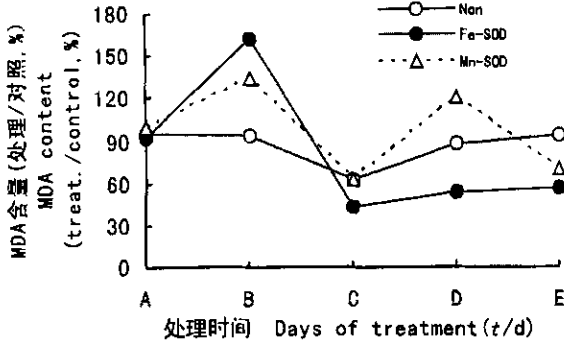


图 3 干旱处理对烟草叶片 MDA 含量的影响
Fig. 3 Effect of drought on MDA content of tobacco leaves

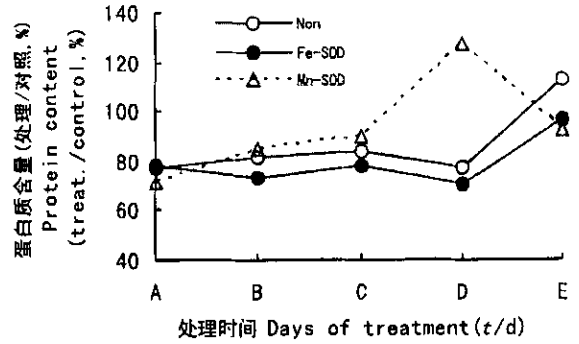


图 6 干旱处理对烟草叶片蛋白质含量的影响
Fig. 6 Effect of drought on protein content of tobacco leaves

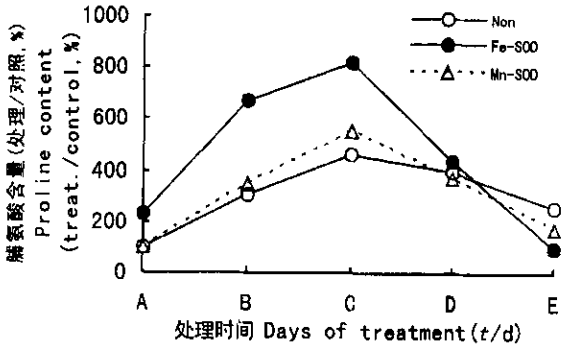


图 4 干旱处理对烟草叶片脯氨酸含量的影响
Fig. 4 Effect of drought on proline content of tobacco leaves

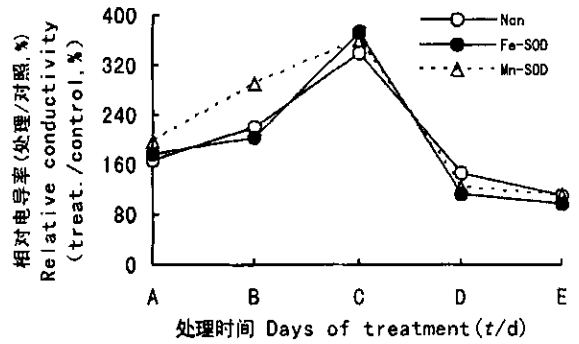


图 7 干旱处理对烟草叶片膜透性的影响
Fig. 7 Effect of drought on cell membrane permeability of tobacco leaves

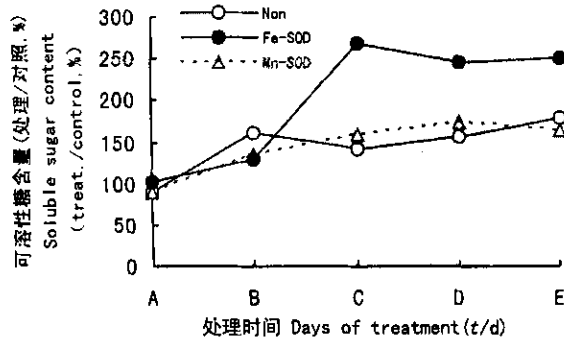


图 5 干旱处理对烟草叶片可溶性糖含量的影响
Fig. 5 Effect of drought on soluble sugar content of tobacco leaves

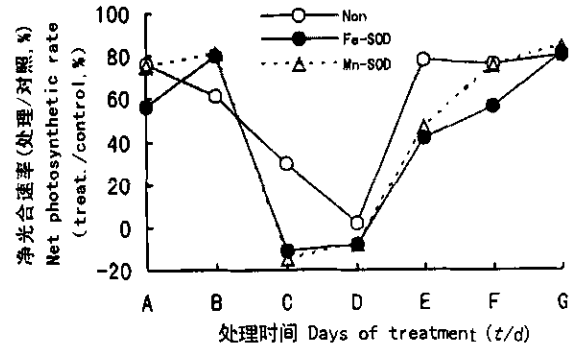


图 8 干旱处理对烟草叶片净光合速率的影响
Fig. 8 Effect of drought on net photosynthetic rate of tobacco leaves

A, B, C, D: 干旱 3, 5, 7, 9 天; E, F, G: 复水 1, 3, 5 天。
A, B, C, D: Drought for 3, 5, 7, 9 days;
E, F, G: Re-watered for 1, 3, 5 days.

照的 350% 以上, 说明供试品系的质膜透性对干旱胁迫的反应都非常敏感; 在复水后的恢复期间所有品系都能迅速恢复到对照水平, 这说明这些品系生物膜的功能在复水后都能够基本恢复正常。

3 个供试品系的净光合速率在干旱和复水处理期间的变化趋势基本一致, 均随干旱处理时间的延长而降低, 复水能使其逐渐恢复, 但短时间内不能恢

复到正常水平(图 8)。2 个转 SOD 基因品系的净光合速率在干旱胁迫的第 7 天迅速降为负值, 而非转基因品系直到处理第 9 天才降低到 0 以下, 试验中体现光合作用指标的胞间 CO₂ 浓度、气孔导度和蒸腾强度也有相似的反应(覃鹏等, 2004), 说明转入的

SOD 基因在干旱胁迫时在某种程度上影响了光合作用的正常进行。

3 讨 论

基因工程是提高植物对逆境抗性的最简便而又快捷的方式(秦小琼等, 1997), 但它也可能遇到问题, 比如基因沉默(吴刚等, 2000)使导入的外源基因不能正常表达, 或者外源基因虽然能表达但引起受体细胞结构、功能等的异常变化, 从而不能达到预期目的。本试验中所用的转 SOD 基因烟草, 外源 SOD 基因得到了表达, 在一定程度上增加了烟草 SOD 活性, 而且在正常管理情况下几乎没有影响到植株的生理功能, 因此转基因过程基本上是成功的, 也达到了进一步试验所需的条件。

所转 SOD 基因在对干旱胁迫的抗性方面有很大差异, 其中转入的 Fe-SOD 基因虽然提高了植株叶片中的 SOD 活性水平, 但是对烟草的抗旱性没有明显影响, 这说明 Fe-SOD 可能对烟草抗旱性的增强没有太大作用; 转入的 Mn-SOD 基因不仅有效提高了受体叶片中的 SOD 活性水平, 而且在一定程度上增强了烟草植株的抗旱性, 说明 Mn-SOD 可能具有在一定范围内增强烟草抗旱力的作用。但在选育作物、尤其是烟草抗旱品种时是否可以将 SOD 活性水平、特别是 Mn-SOD 的活性水平作为一个鉴定指标还有待进一步的研究才能确定。

对烟草、豌豆等进行研究表明, 干旱胁迫下植物体内 SOD 活性增加, 且抗旱性越强增加的也越多(王建华等, 1989; 周瑞莲等, 1997; Rensberg 等, 1994); 而在对黄瓜、大豆和蚕豆等的试验中发现, 干旱胁迫下 SOD 活性降低, 且下降越多抗旱性也越差(祁云枝等, 1997; 许东河等, 1991); 还有研究认为 SOD 活性增加的其抗旱性较强而下降的抗旱性较弱(韩阳等, 1995)。本研究发现, SOD 活性在干旱处理过程中都有所增加, 可能表明了 SOD 清除活性氧的机制是一种应激反应; 抗旱性较强的转 Mn-SOD 基因品系的 SOD 活性在处理的各个时期相对较为平稳, 可能表明了其清除活性氧的较强能力。

通常认为脯氨酸、MDA、光合作用和质膜透性等指标与水分胁迫存在很紧密的关系。在本试验中当遭受干旱胁迫时, 质膜透性基本能够反映植株水分损失的程度; 所转的 2 种 SOD 基因可能在某种程度上影响了机体 MDA、蛋白质、光合作用以及脯氨

酸等的正常生理代谢, 干旱胁迫对这些生理生化指标虽然有很大影响, 但上述这些指标在抗旱与不抗旱品系之间并没有表现出非常明显的规律性, 因此能否作为抗旱育种的重要指标必须通过更多的试验才能加以确定。

参考文献:

- 刘祖祺, 张石城. 1994. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社: 84-195.
- 李如亮. 1998. 生物化学实验[M]. 武汉: 武汉大学出版社: 57-58.
- 祁云枝, 杜勇军. 1997. 干旱胁迫下黄瓜及蚕豆也派内膜透性改变及其机理的初步研究[J]. 陕西农业科学, (4): 6-7.
- 吴 刚, 夏英武. 2000. 植物转基因沉默及对策[J]. 生物技术, 10(2): 27-32.
- 许东河, 李东艳, 程舜华. 1991. 大豆超氧化物歧化酶(SOD)活性与其抗旱性关系研究[J]. 河北农业技术师范学院学报, 5(3): 1-3.
- 张志良. 1990. 植物生理学实验指导[M]. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社: 154.
- 周瑞莲, 王 刚. 1997. 水分胁迫下豌豆保护酶活力变化及脯氨酸积累在其抗旱中的作用[J]. 草业学报, 6(4): 39-43.
- Han Y(韩 阳), Wang QY(王秋雨), Han GX(韩光燮). 1995. The analysis about SOD activities in leaves of plants and resistance classification of them(植物叶片 SOD 活性分析及植物抗性等级的划分)[J]. J Liaoning Univ(Nat Sci Edi)(辽宁大学学报(自然科学版)), 22(2): 71-74.
- Jiang MY(蒋明义) Guo SC(郭绍川). 1996. Oxidative stress and antioxidation induced by water deficiency in plants(水分亏缺诱导的氧化胁迫和植物的抗氧化作用)[J]. Plant Physiol Commun(植物生理学通讯), 32(2): 144-150.
- Qin P(覃 鹏), Kong ZY(孔治有), Liu YJ(刘叶菊), et al. 2004. Effects of water stress on photosynthetic characteristics of SOD gene transformed tobacco lines(水分胁迫对烟草转 SOD 基因品系光合作用的影响)[J]. Jiangsu J Agric Sci(江苏农业学报), (2): 91-94.
- Qin XQ(秦小琼), Jia SR(贾士荣). 1997. Genetic engineering of plants tolerant to oxidative stress(植物抗氧化逆境的基因工程)[J]. J Agric Biotech(农业生物技术学报), 5(1): 14-21.
- Rensberg L V, Kruger G H J. 1994. Evaluation of components of oxidative stress metabolism for use in selection of drought tolerant cultivars of *Nicotiana tabacum* L. [J]. J Plant Physiol, 143(6): 730-737.
- Wang JH(王建华), Liu HX(刘鸿先), Xu T(徐 同). 1989. The role of superoxide dismutase(SOD) in stress physiology and senescence physiology of plant(超氧化物歧化酶(SOD)在植物逆境和衰老生理中的作用)[J]. Plant Physiol Commun(植物生理学通讯), 25(1): 1-7.
- Zhang XH(张秀海), Huang CL(黄丛林), Shen YY(沈元月). 2001. Research progress in plant drought-resistant gene-engineering(植物抗旱基因工程研究进展)[J]. Biotech Inform(生物技术通报), (4): 21-25.

转SOD基因对烟草抗旱性和相关生理指标的影响

作者: 覃鹏, 刘飞虎, 孔治有, 刘叶菊, QIN Peng, LIU Fei-hu, KONG Zhi-you, LIU Ye-ju
作者单位: 覃鹏, QIN Peng(安徽农业大学, 农学院, 安徽, 合肥, 230036; 保山师范高等专科学校, 云南, 保山, 678000), 刘飞虎, LIU Fei-hu(云南大学, 生命科学学院, 云南, 昆明, 650091), 孔治有, 刘叶菊, KONG Zhi-you, LIU Ye-ju(保山师范高等专科学校, 云南, 保山, 678000)
刊名: 广西植物 **ISTIC** **PKU**
英文刊名: GUIHAIJA
年, 卷(期): 2006, 26(6)
被引用次数: 12次

参考文献(14条)

1. 刘祖祺;张石城 植物抗性生理学 1994
2. 李如亮 生物化学实验 1998
3. 祁云枝;杜勇军 干旱胁迫下黄瓜及蚕豆也派内膜透性改变及其机理的初步研究 1997(04)
4. 吴刚,夏英武 植物转基因沉默及对策[期刊论文]-生物技术 2000(2)
5. 许东河,程舜华 大豆超氧化物歧化酶(SOD)活性与其抗旱性关系研究[期刊论文]-河北农业技术师范学院学报 1991(3)
6. 张志良;瞿伟菁 植物生理学实验指导 1990
7. 周瑞莲;王刚 水分胁迫下豌豆保护酶活力变化及脯氨酸积累在其抗旱中的作用 1997(04)
8. 韩阳;王秋雨;韩光燮 植物叶片SOD活性分析及植物抗性等级的划分 1995(02)
9. 蒋明义;郭绍川 水分亏缺诱导的氧化胁迫和植物的抗氧化作用 1996(02)
10. 覃鹏,孔治有,刘叶菊,刘飞虎 水分胁迫对烟草转SOD基因品系光合特性的影响[期刊论文]-江苏农业学报 2004(2)
11. 秦小琼;贾士荣 植物抗氧化逆境的基因工程 1997(01)
12. Rensberg L V;Kruger G H J Evaluation of components of oxidative stress metabolism for use in selection of drought tolerant cultivars of Nicotiana tabacum L 1994(06)
13. 王建华;刘鸿先;徐同 超氧化物歧化酶(SOD)在植物逆境和衰老生理中的作用 1989(01)
14. 张秀海,黄丛林,沈元月,曹鸣庆 植物抗旱基因工程研究进展[期刊论文]-生物技术通报 2001(4)

本文读者也读过(5条)

1. 杨鸯鸯 甘蓝型油菜SOD基因的克隆及菌核病菌诱导的表达[学位论文]2006
2. 周玮,周波,杨雪,侯思名,刘明求,刘飞虎,ZHOU Wei,ZHOU Bo,YANG Xue,HOU Si-ming,LIU Ming-qiu,LIU Fei-hu 转SOD基因烟草中SOD酶活力对逆境的耐性及其遗传学特征[期刊论文]-广西植物2006, 26(2)
3. 陈吉宝,景蕊莲,毛新国,王述民,CHEN Ji-bao,JING Rui-lian,MAO Xin-guo,WANG Shu-min 转PvP5CS2基因烟草对干旱胁迫的反应[期刊论文]-植物遗传资源学报2008, 9(2)
4. 覃鹏,孔治有,刘叶菊,刘飞虎 水分胁迫对烟草转SOD基因品系光合特性的影响[期刊论文]-江苏农业学报 2004, 20(2)
5. 胡根海 棉花Cu/Zn-SOD基因的克隆与表达的初步研究[学位论文]2006

引证文献(12条)

1. 黄强,王津津,侯学文 烟草抗非生物逆境分子育种研究进展[期刊论文]-生物技术通报 2010(05)

2. [杨晓红, 陈晓阳, 王颖, 周伟, 肖铃, 宋雅丹](#) [干旱胁迫对转SacB基因、转BADH基因的美丽胡枝子的影响](#)[期刊论文]-[林业科学](#) 2010(07)
3. [吴建慧, 高野哲夫, 柳参奎](#) [碱茅 \(puccinellia tenuifolra\) Put-Cu/Zn-SOD基因的克隆及在酵母中的表达](#)[期刊论文]-[基因组学与应用生物学](#) 2009(01)
4. [王郑](#) [低能氮离子束注入紫花苜蓿种子对其幼苗期抗旱性的影响](#)[学位论文]硕士: 2009
5. [王鹤鸣, 牛晓磊, 臧剑, 高志亮, 肖晓蓉, 林道哲, 陈银华](#) [角果木Mn-SOD基因分离及其在酵母中的功能鉴定](#)[期刊论文]-[热带作物学报](#) 2014(10)
6. [姜丽丽](#) [农杆菌介导的BcBCP1基因转化马铃薯抗旱性研究](#)[学位论文]硕士: 2008
7. [赵文军, 杨继周, 胡保文, 常剑](#) [抗旱相关基因在烟草中的应用研究进展](#)[期刊论文]-[生物技术进展](#) 2012(04)
8. [曾丽兰](#) [龙眼胚性愈伤组织SOD的表达分析及启动子功能鉴定](#)[学位论文]硕士: 2013
9. [孙伟民](#) [盐角草SeCMO、SePEAMT基因在大肠杆菌中的表达及转双基因烟草耐旱性研究](#)[学位论文]硕士: 2009
10. [谢宗铭, 董永梅, 陈受宜](#) [高等植物非生物胁迫适应的分子生理机制](#)[期刊论文]-[安徽农业科学](#) 2008(19)
11. [赵燕燕](#) [鸢尾属几种植物的抗旱性研究](#)[学位论文]硕士: 2007
12. [张锐](#) [福建野生蕉资源RAPD分析、离体培养与SOD基因克隆](#)[学位论文]硕士: 2011

引用本文格式: [覃鹏, 刘飞虎, 孔治有, 刘叶菊, QIN Peng, LIU Fei-hu, KONG Zhi-you, LIU Ye-ju](#) [转SOD基因对烟草抗旱性和相关生理指标的影响](#)[期刊论文]-[广西植物](#) 2006(6)