

NaCl 胁迫对甘草生长及抗氧化酶活性的影响 *

万春阳 王 丹 侯俊玲[△] 王文全 彭 芳

(北京中医药大学 中药学院 北京 100102)

摘要 目的:通过分析不同浓度 NaCl 胁迫下甘草生长和抗氧化酶活性的变化探讨甘草对盐胁迫的适应性机理; **方法:**采用不同浓度的 NaCl 溶液(配成 Hoagland 液)处理盆栽一年生甘草,分别于 35 d、70 d 和 105 d 取样,测定甘草株高、地上部分鲜、干重、根鲜、干重及甘草叶片 SOD、POD、CAT 活性,分析各生长指标与抗氧化酶活性的相关性; **结果:**NaCl 胁迫 70 d 和 105 d 0.6% 和 0.9% 处理组的株高、地上部分鲜、干重及根鲜、干重均显著低于 CK, SOD、POD 及 CAT 活性均显著高于 CK,经相关性分析得知, SOD、POD 及 CAT 活性与各生长指标均负相关,其中 POD 活性与各生长指标极显著负相关; **结论:**甘草对 NaCl 胁迫的响应有胁迫时间和浓度的依赖性,在遭遇胁迫时,通过改变自身的生长和提高抗氧化酶活性,来提高机体的抗盐能力。

关键词: NaCl 胁迫; 甘草; 生长; 抗氧化酶

中图分类号: S567.71 文献标识码: A 文章编号: 1673-6273(2011)10-1805-05

Effects of NaCl Stress on Growth and Antioxidant Enzyme Activities of *Glycyrrhiza Uralensis**WAN Chun-yang, WANG Dan, HOU Jun-ling[△], WANG Wen-quan, PENG Fang

(College of Pharmacy, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing, 100102, China)

ABSTRACT Objective: To investigate the effect of salt stress on the growth and antioxidation enzyme activities of *Glycyrrhiza uralensis*. **Methods:** Annual *Glycyrrhiza uralensis* was cultivated in the plastic flowerpot irrigated with various concentrations of NaCl (Hoagland solution) for different duration. The height, fresh/dry weight of shoots, fresh/dry weight of root, SOD, POD and CAT activities were determined 35 d, 70 d and 105 d after treatment. The correlation of the growth indices and antioxidant enzymes activities were analyzed. **Results:** On 70th and 105th days after the treatment, the height, the shoots fresh/dry weight and the root fresh/dry weight of 0.6 % and 0.9 % treatment groups decreased significantly compared with CK, the SOD, POD and CAT activity of 0.6 % and 0.9 % treatment groups were extremely higher than those in the control group. The correlation analysis showed that SOD, POD and CAT activities had a negative correlation with growth indices, while POD activity has negative correlation with growth indices. **Conclusion:** The growth of *Glycyrrhiza uralensis* depends on NaCl concentration and the treated duration. When suffered stress, it improves the body salt tolerance by decreasing growth and increasing antioxidation enzyme activities.

Key words: Salt stress; *Glycyrrhiza uralensis*; Growth; Antioxidant enzyme activities

Chinese Library Classification(CLC): S567.71 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2011)10-1805-05

前言

甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch)属豆科多年生草本植物,是最常用的中草药之一,具有调和诸药、润肺止咳、清热解毒等功效及抗炎、抗癌、抗病毒等活性^[1],俗有“十方九草”之称。随着中医药的发展和对甘草的开发利用,野生资源已远不能满足社会需求,发展甘草种植已成必然趋势。

甘草具有喜光照、耐干旱、耐热、耐盐碱和耐寒等特性,野生主要分布于我国甘肃、内蒙、新疆等地区^[2],而这些地区正是盐碱地的主要分布区。同时我国是世界盐碱地大国,各类盐渍土面积约 3460 万 hm²,耕地盐碱化面积 760 万 hm²,近 1/5 耕地发生盐碱化,而且随着干旱的频繁发生、化肥的使用和灌溉

农业的发展,次生盐碱地面积还在不断扩大^[3],这已成为制约我国农业生产发展的重要因素。

因此,利用甘草的生理特性,在盐碱地区发展甘草种植规模成为一个亟待解决的问题。本研究用不同浓度 NaCl 对甘草进行胁迫处理,通过测定其生长指标及抗氧化酶活性,分析甘草在 NaCl 胁迫下的生长和抗氧化酶活性变化,为探讨甘草对盐胁迫的适应机理,扩大甘草栽培规模,开发利用盐碱地区提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源与处理

供试材料为 2010 年 5 月 1 日,采购于中国内蒙古赤峰一

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(30572328)

作者简介:万春阳(1985-),女,硕士研究生,主要从事药材质量形成机理研究,

Tel: 13488676268, E-mail: wanchunyang0808@sina.com

[△]通讯作者:侯俊玲, E-mail: mshjl@126.com

(收稿日期: 2011-02-18 接受日期: 2011-03-13)

年生甘草苗 经北京中医药大学王文全教授鉴定为乌拉尔甘草 (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch)。

试验在北京中医药大学校药用植物园中进行 ,采用蛭石培养法 ,于 2010 年 5 月 18 日将生长状况一致的一年生甘草苗根长修剪为 20 cm 移栽于盛有蛭石细沙混合培养基质的花盆内 (蛭石 细沙 = 6:1(V:V) ,花盆上口直径 25 cm × 高 30 cm × 下口直径 20 cm) ,每 7 d 浇灌一次 pH 为 7.0 Hoagland 营养液 ,其余时间补充蒸馏水。每盆培养 24 株甘草苗。于 2010 年 6 月 6 日 ,待植株生长正常时进行盐胁迫试验。分别用 0%(CK)、0.3 %、0.6 % 及 0.9 %(g 100 mL⁻¹) 4 个水平 NaCl 盐溶液处理(以 Ho - agland 营养液配制) ,设 4 次重复 ,每 7 d 添加处理液 ,分别于处理第 35 d、70 d 和 105 d 取样 ,进行各项指标测定。

1.2 指标测定方法

植株生长指标测定 :将各处理甘草植株从盆中取出 ,用钢卷尺测量植株的株高。然后用水冲洗干净 ,吸水纸吸干 ,分别称地上部分和根的鲜重 ,于 105℃杀青 10 min ,55℃烘至恒重 ,测定干重。

SOD、POD 及 CAT 活性测定 :从植株上剪取相同部位的

叶片^[4] ,SOD 活性用 NBT(氮兰四唑)光化还原法测定 ,POD 活性用愈创木酚显色法测定^[5] ,CAT 活性采用紫外吸收法测定^[6]。

1.3 数据分析

所测结果用 Excel 输入和作图 ,用 SAS 8.0 软件进行统计分析。

2 结果

2.1 NaCl 胁迫下甘草生长指标的变化

盐胁迫对植物最普遍、最显著的影响就是抑制生长。无论是胁迫 35 d、70 d 还是 105 d,随着盐浓度的升高 ,甘草株高、鲜重和干重各指标均出现下降的趋势 ,但各指标间有较明显的差异。

NaCl 处理下 ,各处理甘草株高均低于对照组。在 35 d 和 70 d 时 ,0.6 %和 0.9 %处理组的株高均极显著低于对照组。如 :处理 35 d 时 ,0.6 %和 0.9 %处理组的株高极显著低于对照组 (P<0.01) ,其分别降低了 27.29 %和 33.31 %(表 1)。

表 1 NaCl 胁迫对甘草株高的影响($\bar{X} \pm SD$,n=4)
Table 1 Effects of NaCl stress on the height of *Glycyrrhiza uralensis* ($\bar{X} \pm SD$,n=4)

NaCl Concentration(%)	Treatment time(d)		
	35 d	70 d	105 d
0.3 %	39.61± 3.33ab	47.15± 3.40a	50.01± 4.66a
0.6 %	40.69± 4.94ab	37.39± 7.65b	42.59± 2.12b
0.9 %	36.47± 2.60b	34.29± 4.87b	39.41± 5.05b
0 %(CK)	45.42± 2.68a	51.42± 3.30a	53.34± 3.66a

注 :同列数值后不同字母表示差异达 5%显著性水平
Note: Comprisons significant at the 5% level are indicated by Different letters

地上鲜、干重和根鲜、干重在 70 d 和 105 d 差异达到显著水平 ,各指标均为 CK 最大 ,0.9 %处理组最小。如 105 d 时 ,地上鲜重 0.9 %处理组与对照相比降低了 40.75 % ,而其地上干重

降低了 52.64 %之多 ;同时根的鲜干重也表现出了极显著的差异(P<0.01) ,分别减少了 39.93 %和 44.87 % ,减少幅度最大 (表 2 和表 3)。

表 2 NaCl 胁迫对甘草植株地上生物量的影响($\bar{X} \pm SD$,n=4)
Table 2 Effects of NaCl stress on the shoots biomass of *Glycyrrhiza uralensis*($\bar{X} \pm SD$,n=4)

NaCl Concentration(%)	Fresh weight of shoots(g)			Dry weight of shoots(g)		
	35 d	70 d	105 d	35 d	70 d	105 d
0.3 %	5.85± 1.26a	9.03± 0.53a	11.76± 2.44a	1.80± 0.44a	3.16± 0.25ab	5.06± 0.42a
0.6 %	6.59± 1.83a	8.05± 0.11a	8.28± 0.58b	2.06± 0.57a	2.57± 0.73b	3.15± 0.48b
0.9 %	5.60± 0.73a	5.67± 1.26b	7.25± 0.63b	1.76± 0.27a	1.87± 0.44c	2.46± 0.22c
0 %(CK)	6.84± 0.80a	10.17± 1.35a	12.24± 1.43a	2.21± 0.36a	3.41± 0.25a	5.19± 0.48a

注 :同列数值后不同字母表示差异达 5%显著性水平
Note: Comprisons significant at the 5% level are indicated by Different letters

表 3 NaCl 胁迫对甘草根生物量的影响($\bar{X} \pm SD$ $n=4$)

Table 3 Effects of NaCl stress on the root biomass of Glycyrrhiza uralensis($\bar{X} \pm SD, n=4$)

NaCl Concentration(g)	Fresh weight of root(g)			Fresh weight of root(g)		
	35 d	70 d	105 d	35 d	70 d	105 d
0.3 %	5.86± 0.22ab	7.39± 0.43ab	8.21± 0.39b	2.51± 0.22a	3.08± 0.28ab	3.83± 0.34b
0.6 %	5.61± 0.28ab	6.67± 0.59b	6.61± 0.34c	2.52± 0.81a	2.97± 0.11ab	3.01± 0.25c
0.9 %	5.31± 0.36b	5.51± 0.41c	5.95± 0.49c	2.49± 0.46a	2.58± 0.17b	2.53± 0.31c
0 % (CK)	6.05± 0.06b	8.08± 0.93a	9.90± 1.07a	2.68± 0.38a	3.34± 0.55a	4.59± 0.46a

注 :同列数值后不同字母表示差异达 5%显著性水平

Note: Comprisons significant at the 5% level are indicated by Different letters

2.2 NaCl 胁迫下抗氧化酶活性的变化

SOD 是保护植物细胞免受自由基伤害的第 1 道防线 ,它是防御活性氧的关键酶。由图 1 可见 ,甘草叶片 SOD 活性随盐浓度的增加而显著升高 ,并且整个处理期间 ,呈先上升后下降的趋势 ,在 70 d 时各处理达到最大值。70 d 和 105 d ,0.6 %和 0.9 %处理组与 CK 相比 ,均达到极显著水平($P<0.01$) ,分别增加了 33.92 %、38.98 %和 21.51 %、40.06 %。

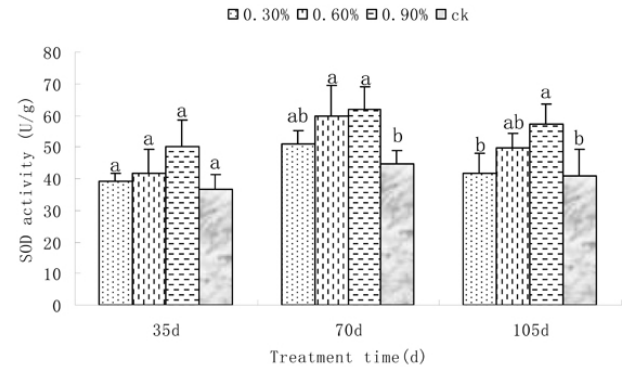


图 1 NaCl 胁迫对甘草叶片 SOD 酶活性的影响

Fig 1 Effects of NaCl stress on the SOD activity of Glycyrrhiza uralensis leaves

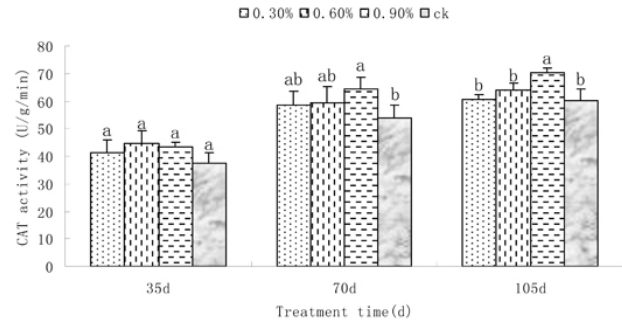


图 2 NaCl 胁迫对甘草叶片 CAT 酶活性的影响

Fig 2 Effects of NaCl stress on the CAT activity of Glycyrrhiza uralensis leaves

随着盐处理浓度的增加 ,叶片中 CAT 的活性呈上升趋势 (图 2)。在 35 d 时 ,随盐处理浓度的增加 CAT 活性增加并不显著($P>0.05$) ,当处理时间到 70 d 时 ,各处理活性增加迅速 ,0.9 %处理组的活性显著高于 CK($P<0.05$) ,且 105 d 时 ,0.9 %处

理组与 CK 相比 ,达到极显著水平($P<0.01$)。

盐胁迫下 POD 活性随着 NaCl 浓度的增加而显著升高 (图 3) ,说明盐浓度越高 ,植株产生更多的 POD 清除盐胁迫下产生的大量过氧化物 ,从而提高植株耐盐性。整个处理期间 POD 的增长趋势与 CAT 增长趋势一致 ,呈上升趋势。当处理时间到 70 d 和 105 d 时 ,各处理活性增加表现出差异 ,0.6 %和 0.9 %处理组的活性显著高于 CK($P<0.01$) ,其增幅在 105 d 时达到最大 ,分别为 27.09 %和 54.41 %。

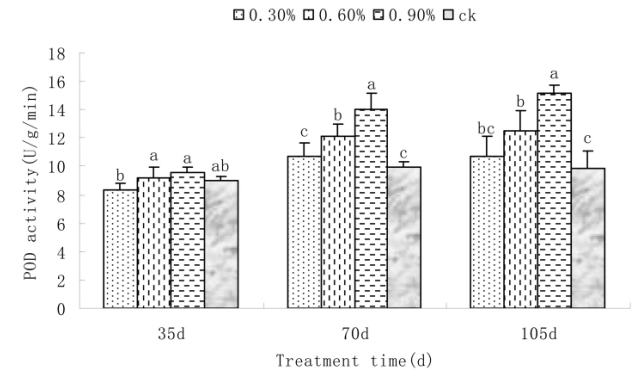


图 3 NaCl 胁迫对甘草叶片 POD 酶活性的影响

Fig 3 Effects of NaCl stress on the POD activity of Glycyrrhiza uralensis leaves

2.3 NaCl 胁迫 70 d 和 105 d 后抗氧化酶活性与生长指标的相关性分析

为探明 NaCl 胁迫下抗氧化酶和生长指标之间的关系 ,对处理 70 d 和 105 d 的抗氧化酶活性与生长指标进行了相关分析。由表 4 可知 ,SOD 活性 ,在 70 d 时 ,与株高、地上干重及根干重显著负相关 ,105 d 时 ,与地上干重显著负相关 ,与地上鲜重、根鲜、干重呈极显著负相关 ;POD 活性 ,在 70 d 和 105 d 时 ,与所有生长指标均达到极显著负相关 ;CAT 活性 ,70 d 时 ,仅与地上干重呈显著负相关 ,而 105 d 时 ,与所有生长指标极显著负相关。

3 讨论

盐胁迫下 ,植物根系最早感受逆境胁迫信号 ,并产生相应的生理反应 ,继而影响地上部生长。随着含盐量的增加 ,植物叶、茎和根的鲜重及干重降低^[7]。杨秀红等研究结果表明低盐浓度 (50,100 mmol·L⁻¹) 胁迫下 ,甘草幼苗生长指标之间差异不明

表 4 NaCl 胁迫 70 d 和 105 d 后抗氧化酶活性与生长指标的相关性分析(n=16)
Table 4 The correlation analysis of antioxidant enzymes activities and growth indices after NaCl stress 70 d and 105 d(n=16)

	Treatment time	Height	Fresh weight of shoots	Dry weight of shoots	Fresh weight of root	Dry weight of root
SOD	70 d	-0.5572 ¹⁾	-0.4409	-0.6132 ¹⁾	-0.4310	-0.5852 ¹⁾
	105 d	-0.4883	-0.8024 ²⁾	-0.6126 ¹⁾	-0.7467 ²⁾	-0.7188 ²⁾
POD	70 d	-0.7706 ²⁾	-0.8336 ²⁾	-0.7857 ²⁾	-0.8453 ²⁾	-0.6625 ²⁾
	105 d	0.6335 ²⁾	-0.7679 ²⁾	-0.8029 ²⁾	-0.8080 ²⁾	-0.7961 ²⁾
CAT	70 d	-0.4002	-0.2345	-0.5785 ¹⁾	-0.2747	-0.4110
	105 d	-0.6259 ²⁾	-0.6827 ²⁾	-0.7485 ²⁾	-0.7819 ²⁾	-0.7081 ²⁾

注 $r_{0.05} = 0.497$ ¹⁾显著 $r_{0.01} = 0.623$ ²⁾极显著
Note: $r_{0.05} = 0.497$ ¹⁾ is significant, $r_{0.01} = 0.623$ ²⁾ is extremely significant

显,而高盐浓度下(200 mmol·L⁻¹)株高、鲜、干中等指标差异较显著^[8]。本试验结果显示,0.6%和0.9%浓度胁迫下甘草株高、地上部分鲜、干重和根鲜、干重较对照有显著或极显著下降,与前者研究结果一致,说明盐胁迫抑制了甘草的生长及地上部分和根的生物量。关于盐胁迫抑制植物生长的理论,有学者提出了三个生理机制^[9,10],但 Munns 认为以上的机制不是植物生物受到抑制的主要因素,提出了盐抑制植物生长的两个阶段假说,即短期胁迫对植物生长的影响被认为与根际的水势降低有关;而长期胁迫,则与大量的盐分随蒸腾流进入地上部有关,此外长期胁迫限制同化物运送到生长区域,这是限制生长的主要因素^[11]。

植物体内最重要的活性氧形式主要有 O₂⁻ 和 H₂O₂ 等。植物在遭受干旱、低温、盐害胁迫下,其生理特性发生巨大的变化。其叶绿体利用 CO₂ 的能力受到限制,能量消耗降低,光合电子传递到 O₂ 的比例增加,因而可使植物体内各种活性氧(如 O₂⁻ 和 H₂O₂)的含量大量增加^[12]。此外,逆境胁迫亦可影响呼吸电子传递链的活性,单电子与分子氧结合而使分子氧被还原成 O₂⁻ 和 H₂O₂^[13]。

若活性氧不加以清除,植物将受到严重的氧化伤害,如诱导膜脂过氧化,引起膜流动性下降,质膜透性大大增加,破坏膜的正常功能^[14,15],从而影响了植物的生长发育,甚至导致死亡,于是植物将动员酶性的和非酶性的抗氧化防御系统以保护细胞质膜和细胞内物质免受伤害。而 SOD、POD 和 CAT 即为该系统中最重要的 3 种抗氧化酶。其中 SOD 催化两个超氧自由基发生歧化反应形成 O₂ 和 H₂O₂,产生的 H₂O₂ 再由 POD 和 CAT 分解去除。

盐胁迫条件下,甘草叶片中 SOD 活性表现出先升后降的变化规律,在处理 70 d 出现最大值,之后又下降。SOD 活性随浓度的增加而逐渐增加,说明盐胁迫使甘草体内出现活性氧, SOD 活性增强说明能有效地清除氧自由基,阻止膜的过氧化和被破坏,实现自我调节抵御。CAT 主要分布于微体(过氧化物体、乙醛酸循环体及相关氧化酶定位的细胞器)中,其重要功能是在叶中除去光呼吸时的过氧化氢^[16]。过氧化物体中 H₂O₂ 含量非常高,此种情况下,CAT 对清除 H₂O₂ 很有效^[17]。当植物叶片中 H₂O₂ 增加时,H₂O₂ 可作为底物直接激活或通过基因表达的方式增加 CAT 的活力,以适应清除 H₂O₂ 的需要^[18]。随着盐浓度的增加,甘草叶片 CAT 活性维持在较高水平,呈现出上升的应答趋势。这说明 CAT 是甘草应对盐胁迫,清除 H₂O₂ 的关键酶。POD 可清除线粒体或胞浆中产生的 H₂O₂。在盐胁迫条件下甘草叶片 POD 表现出与 CAT 类似的应答趋势,在高盐条件(0.9%)下,其活性持续增加。这样能及时清除 H₂O₂,使其体内含量维持在较低水平。试验结果表明,POD 也是甘草应对盐胁迫的关键酶。SOD、POD 和 CAT 活性的变化趋势可能是由

于抗氧化酶的活性具有互补性,整个抗氧化酶系统的防御能力的变化是这几种酶彼此协调作用的结果的缘故^[19,20]。

本实验通过生长指标与抗氧化酶活性的相关性分析,可知部分指标具有较高的相关系数,并有一定的规律性,NaCl 胁迫下,甘草各项生长指标与 POD 活性相关性较强,即株高越小、地上部分及根的干鲜重越小,POD 酶活性较大,进一步表明盐胁迫下,对甘草生长抑制的同时,甘草叶片的 POD 的活性有较明显的提高,说明甘草在受到 NaCl 胁迫时,生长指标和抗氧化酶活性不是孤立的而是相互联系,密不可分的。

本试验只是初步研究了甘草生长及抗氧化酶活性与抗盐能力的关系,而植物抗盐能力与抗氧化胁迫能力之间有着复杂而密切的联系,表现在活性氧产生与清除平衡的破坏、恢复、维持和氧化损伤的修复等方面,且植物对逆境产生响应主要是通过改变基因表达来完成的。通过分子或蛋白揭示活性氧代谢与甘草抗盐性的关系,将有助于甘草对抗盐机理的进一步理解。

参考文献(References)

[1] 张萍,祝希娴.甘草及其制剂药理与临床应用研究新进展[J].中草药,1997,28(9):568-570
ZHANG Ping, ZHU Xi-xian. Research Progress of Glycyrrhiza and Preparation Pharmacology and Clinical Application[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 1997, 28(9):568-570(In Chinese)
[2] 张继,姚健,丁兰,等.甘草的利用研究进展[J].草原与草坪,2000,89(2):12-17
ZHANG Ji, YAO Jian, DING Lan, et al. Advancement of Research on the Utilization of Glycyrrhiza [J]. Grassland and Turf, 2000, 89(2): 12-17(In Chinese)
[3] 王越,赵辉,马凤江,等.盐碱地与耐盐碱牧草[J].山西农业科学,2006,34(1):55-57
WANG Yue, ZHAO Hui, MA Feng-jing, et al. Alkali-saline Soil and Alkali-hardiness Forage [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2006, 34(1):55-57(In Chinese)
[4] 万劲,石雷,张金政,等.盐胁迫对鸢尾叶片生理指标的影响[J].南京林业大学学报,2006,30(1):57-60
WAN Jin, SHI Lei, ZHANG Jin-zheng, et al. Effects of Salt Stress on Some Physiological Indexes in Iris Leaves [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2006, 30 (1):57-60(In Chinese)
[5] 朱广廉,钟海文,张爱琴.植物生理学实验[M].北京:北京大学出版社,1990:51-53
ZHU Guang-lian, ZHONG Hai-wen, ZHANG Ai-qin. Plant Physiology Experiments[M]. Beijing: Beijing university press, 1990:51-53
[6] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006:214
GAO Jun-feng. Plant Physiology Experiment Guidance [M]. Beijing: Higher education press, 2006:214

- [7] 王东明,贾媛,崔继哲.盐胁迫对植物的影响及植物盐适应性研究进展[J].中国农学通报,2009, 25(4):124-128
Wang Dong-ming; Jia Yuan; Cui Ji-zhe. Advances in Research on Effects of Salt Stress on Plant and Adaptive Mechanism of the Plant to Salinity [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25 (4): 124-128(In Chinese)
- [8] 杨秀红,李建民,董学会,等.盐胁迫对甘草幼苗生长及其生理指标的影响[J].华北农学报,2006, 21(4):39-42
YANG Xiu-hong, LI Jian-min, DONG Xue-hui, et al. Effects of Salt Stress on Growth and Some Physiological Indexes in Glycyrrhiza uralensis Fisch Seedlings [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2006, 21 (4):39-42(In Chinese)
- [9] Neumann P M. Salinity resistance and plant growth revisited [J]. Plant, Cell and Environment, 1997, 20:1193-1198
- [10] 张福锁.环境胁迫与植物育种[M].北京:农业出版社,1993.
ZHANG Fu-suo. Environmental stresses and plant breeding[M]. Beijing: Agriculture press, 1993
- [11] 陶晶,李铁,孙长彬,等.植物盐胁迫研究进展[J].吉林林业科技, 2003, 32(5): 1-7
TAO Jing, LI Tie, SUN Chang-bin, et al. Review on Salt Stress in Plants[J]. Forestry Science and Technology, 2003, 32(5):1-7(In Chinese)
- [12] 董永华,史吉平,周慧欣.6-BA 对小麦幼苗抗旱性的影响[J].植物营养与肥料学报,1999, 5(1):72-75
DONG Yong-hua, SHI Ji-ping, ZHOU Hui-xin. Effect of 6-BA on Drought Resistance in Wheat Seedlings [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1999, 5(1):72-75(In Chinese)
- [13] 余叔文,汤章成.植物生理与分子生物学[M].科学出版社,中国,北京,2001:739-749
YU Shu-wen, TANG Zhang-cheng. Plant Physiology and Molecular Biology[M]. Science press, China, Beijing, 2001:739-749
- [14] 於丙军,刘友良.盐胁迫对一年生盐生野大豆幼苗活性氧代谢的影响[J].西北植物学报,2003,23(1): 18-22
YU Bing-jun, LIU You-liang. Effects of salt stress on the metabolism of active oxygen in seedlings of annual halophyte Glycine soja[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2003, 23 (1): 18-22 (In Chinese)
- [15] Sairam RK, Srivastava GC. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress[J]. Plant Science, 2002, 162:897-904
- [16] Willekens H, Inze D, Van Montagu M. Catalase in plants [J]. Molecular Breeding,1995, 1: 207-208
- [17] 庞彩虹. 不同浓度 NaCl 处理对盐地碱蓬叶片中 CAT、GR 和 GST 的影响[D].山东师范大学硕士研究生论文.2004: 11-12
PANG Cai-hong. Effects of NaCl Treatment on the CAT、GR and GST in the Leaves of Suaeda Salsa [D]. Shandong normal university thesis. 2004: 11-12(In Chinese)
- [18] 刘琛,丁能飞,傅庆林,等.盐胁迫对 3 种蔬菜幼苗抗氧化酶活性的影响[J].安徽农业科学,2010, 38(1):115-116
LIU Chen, DING Neng-fei, FU Qing-lin, et al. Effect of the Salt Stress on the Anti-oxidative Enzyme in Seedlings of Three Vegetable Species[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(1):115-116(In Chinese)
- [19] 彭立新,周黎君,冯涛,等.盐胁迫对沙枣幼苗抗氧化酶活性和膜脂过氧化的影响[J].天津农学院学报,2009, 16(4):1-4
PENG Li-xin, ZHOU Li-jun, FENG Tao, et al. Effects of Salt Stress on Activities of Antioxidant Enzymes and Membrane Lipid Peroxidation of Elaeagnus angustifolia L. Seedlings [J]. Journal of Tianjin Agricultural University, 2009, 16(4):1-4(In Chinese)
- [20] 刘爱荣,赵可夫.盐胁迫下盐芥渗透调节物质的积累及其渗透调节作用[J].植物生理与分子生物学学报,2005, 31(4):389-395
LIU Ai-Rong, ZHAO Ke-Fu. Osmotica Accumulation and Its Role in Osmotic Adjustment in Thellungiella halophila Under Salt Stress[J]. Acta Photophysiological Sinica, 2005, 31(4):389-395(In Chinese)

• 重要信息 •

《分子影像学》第二版已正式出版发行

卜丽红¹ 戴薇薇²

(1 哈尔滨医科大学附属第四医院医学影像科 150001 2 人民卫生出版社医药教育出版中心第四编辑室)

由哈尔滨医科大学附属第四医院申宝忠教授主编的《分子影像学》第二版(ISBN 978-7-117-13344-9/R·13345)一书已于 2010 年 9 月 14 日由人民卫生出版社出版发行。《分子影像学》是国内第一分子影像学大型专著。对于分子影像学的基本概念、基本原理、基本方法 and 应用概况都有精彩而详细的论述,充分体现了国际分子影像学的最新进展。

《分子影像学》第二版由著名医学影像学家、中国工程院院士刘玉清教授和美国分子影像学专家、美国医学科学院院士 Sanjiv Sam Gambhir 教授亲自作序。编委会包括美国哈佛大学、斯坦福大学等国外知名院校 7 名专家作为国外编委,国内多家知名大学、研究中心学术带头人 13 名作为国内编委,还包括国内外共 40 名专家参与编写。

全书共计 130 余万字,收录图片 378 幅,共分基础篇和应用篇。

基础篇共分 10 章,主要介绍了分子影像学的发展简史,分子成像的相关概念、基本原理、基本技术和设备等,内容较第一版更为精准、完善,覆盖面更加宽泛。着重针对探针合成这一当前分子成像研究的技术瓶颈,纳入了材料学、生物学和化学等相关技术内容。

应用篇共分 7 章,着重介绍了分子影像学技术的最新进展和应用情况,并详细介绍了分子成像在肿瘤、中枢神经系统和心血管系统疾病诊断中的应用情况,重点阐述了分子成像在监测基因治疗、活体细胞示踪以及新药研发等方面的最新研究进展,并就分子影像学向临床转化所面临的问题进行了深入剖析。

本书内容系统详实,深入浅出,图文并茂,可读性强。可供医学影像学专业、临床专业学生使用,并可为临床各学科研究生、临床医师及其他相关生命科学的研究人员提供參考。

《分子影像学》精装本定价 260 元,全国各大书店有售。