

壳聚糖包衣对杂交水稻种子发芽和幼苗耐盐性的影响*

阮松林 薛庆中

(浙江大学农业与生物技术学院农学系, 浙江杭州 310029)

摘要 用1.5%壳聚糖和1.5%壳聚糖+10 mmol/L脯氨酸(Proline)包衣处理两个杂交稻品种“汕优10”和“二优培九”种子,包衣和未包衣种子分别在H₂O、50 mmol/L、100 mmol/L和150 mmol/L的NaCl溶液中在30℃下发芽,并测定种子发芽率、淀粉酶活性、幼苗耐盐指数、耐盐比率及幼苗脯氨酸、可溶性糖、果糖和蔗糖等相容性溶质含量。结果表明,壳聚糖包衣处理后可以提高在清水或盐胁迫条件下杂交水稻种子发芽率和β-淀粉酶活性,降低盐胁迫条件下水稻种子α-淀粉酶活性。在盐胁迫条件下,随着NaCl浓度增加,壳聚糖包衣和未包衣处理的杂交水稻种子α、β-淀粉酶活性均明显下降。壳聚糖包衣处理还能提高杂交水稻幼苗耐盐指数和耐盐比率,增加杂交水稻盐胁迫后幼苗脯氨酸、可溶性糖、果糖和蔗糖含量,说明壳聚糖包衣处理可以提高杂交水稻幼苗耐盐性。但在壳聚糖中添加10 mmol/L脯氨酸包衣处理对杂交水稻种子发芽和幼苗耐盐性的增效作用不大。试验还表明,杂交水稻汕优10幼苗耐盐性强于二优培九。

关键词 壳聚糖包衣; 发芽率; 淀粉酶活性; 相容性溶质; 耐盐性; 杂交水稻

中图分类号: S511 文献标识码: A

Effects of Chitosan Coating on Seed Germination and Salt-tolerance of Seedlings in Hybrid Rice (*Oryza sativa* L.)

RUAN Song-Lin XU Qing-Zhong

(Department of Agronomy, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract Seeds of two hybrid rice combinations, Shanyou 10 and Eryoupeijiu, which were film-coated with 1.5% chitosan, 1.5% chitosan + 10 mmol/L proline, and non-coated seeds were germinated in H₂O, 50 mmol/L, 100 mmol/L or 150 mmol/L NaCl solutions at 30℃. Germination percentage, activities of α, β-amylase, tolerance index, tolerance ratio and content of compatible solutes, proline, total soluble sugar, fructose and sucrose were determined. The results showed that chitosan coating significantly improved germination percentage and activities of β-amylase under normal (H₂O) or salt stress conditions, and decreased activities of α-amylase under salt stress conditions as compared with the control (non-coating treatment). Under salt stress conditions, activities of α, β-amylase increased in Coated or non-coated seeds with enhancement of NaCl concentrations. Chitosan coating also improved the tolerance index and tolerance ratio of seedlings, and increased the content of proline, total soluble sugar, fructose and sucrose in stressed seedlings. It was suggested that Chitosan coating was able to improve the salt tolerance of seedlings in hybrid rice. Coating with chitosan + 10 mmol/L proline had little increasing effects on seed germination and the salt tolerance of seedlings. Shanyou 10 had higher salt-tolerance of seedlings than Eryoupeijiu.

Key words Chitosan coating; Germination percentage; Amylase; Salt-tolerance; Compatible solutes; Hybrid rice

基金项目: 国家科技部中波政府科技合作项目(272-09-1997)

作者简介: 阮松林(1968-), 男, 浙江上虞人, 博士, 讲师, 从事种子科学研究。

Received on(收稿日期): 2001-07-25, Accepted on(接受日期): 2002-01-08

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

种子包衣载有农药、化肥、植物生长调节剂和微量元素等物质,可有效地控制作物苗期病虫害的发生^[1, 2],提高非生物逆境胁迫条件下作物种子发芽和出苗性能,促进生长发育,增加产量^[3, 4]。如应用过氧化钙丸化水稻种子,利用过氧化钙与水作用缓慢放氧的特点,为稻种提供氧气,改善了直播水稻田间出苗和扎根条件^[5-8]。亲水胶体褐藻酸钠加氧化钙包膜处理后可明显提高水稻种子在水分欠缺土壤中出苗性能和成苗率^[9]。此外,采用高吸水种衣剂包衣水稻种子,在种子周围及秧苗根部形成“蓄水球囊”,有效地提高了水稻出苗率、成秧率^[10]。然而,种子包衣处理对盐胁迫条件下杂交稻种子发芽和幼苗耐盐性的影响尚未见报道。

在高盐环境下水稻种子发芽率明显降低,幼苗生长延缓^[11, 12],并且影响幼穗发育^[13],耐盐品种在盐胁迫条件下能通过体内的渗透调节作用,在细胞内产生脯氨酸、可溶性糖、果糖、蔗糖、多胺等相容性溶质(compatible solutes)^[14, 15],它们有渗透调节功能,有较强的亲水力,吸附在细胞蛋白质、蛋白复合物或膜表面^[16],使细胞膜结构免遭降解或破坏^[17]。同时还可降低淀粉酶、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化物氢酶(CAT)的活性^[18, 19],提高多酚氧化酶(PPO)、吡哆乙酸氧化酶和抗坏血酸过氧化物酶的活性^[19, 20]。

壳聚糖是一种天然的高分子物质,易被土壤微生物降解,其短链降解产物能对调节植物生长^[3],抑制某些病菌生长繁殖^[21],增强水稻种子几丁质酶的活性^[22]。本试验研究了壳聚糖包膜对盐胁迫条件下杂交水稻种子发芽及幼苗耐盐性影响,以期水稻生产服务。

1 材料与方法

1.1 材料

选用两个杂交水稻组合“汕优10”(Oryza sativa ssp. indica)和“二优培九”(Oryza sativa L.),其种子分别由浙江省种子公司和浙江金华市种子提供。

1.2 方法

1.2.1 种子包衣 采用2种包衣处理,其中包括1.5%壳聚糖(Chitosan)和1.5% Chitosan+10 mmol/L Proline, 1g药剂手工包衣处理30g水稻种子,包衣均匀后将种子摊在干净的发芽纸上并移于25℃鼓风干燥箱内晾48h。以未包衣处理的种子作为对照。

1.2.2 种子发芽和幼苗培养条件 水稻包衣和未包衣(对照)种子置于垫有两层发芽纸的标准发芽皿(18 cm × 13 cm × 10 cm)中,分别加入20 mL的水,50 mmol/L、100 mmol/L、150 mmol/L的NaCl溶液,每处理溶液设6次重复,每重复50粒种子。种子纸上发芽,在30℃温度的发芽箱中进行,每天光照时间12小时,光强约为4000勒克斯(lx),每天还须更换相应的溶液以保持NaCl溶液浓度不变,至第14天统计正常幼苗数,并计算发芽率。

1.2.3 淀粉酶活性测定 至置床后第4天随机选取10粒发芽或萌动种子,去除根和芽,剥去种壳,保留胚乳部分,称重。按薛应龙(1985)法提取淀粉酶液并测定 α 、 β 淀粉酶活性。以620 nm波长下光密度降低0.1为1个 α 淀粉酶活性单位,保温5 min后形成相当于100 mg的还原糖定为1个 β 淀粉酶活性单位。

1.2.4 相容性溶质测定 至置床后第10天取幼苗地上部作为相容性溶质测定材料。按薛应龙(1985)法测定幼苗内部可溶性总糖、果糖和蔗糖含量^[23]。按张宪政(1992)法测定脯氨酸含量^[24]。

1.2.5 幼苗干重测定及耐盐指数和耐盐比率计算

取第10天幼苗在70℃烘箱中烘至恒重,称得苗干重^[12]。耐盐指数按以下公式计算,耐盐指数

$$(TD) = 100 + \sum_{i=0}^n \left[100X_i \left(\frac{W_{Gx_i}}{W_{Gx_0}} \right) \right]^{[25]}$$

, X_0, X_1, \dots, X_n 为不同浓度NaCl(g/L); W_{Gx_0} 为0 g/L NaCl中幼苗干重; $W_{Gx_0}, W_{Gx_1}, \dots, W_{Gx_n}$ 为不同浓度NaCl(g/L)中幼苗干重。耐盐比率(TR) = W_{Gx_n} / W_{G_0} ^[26]。

1.3 统计分析

应用SAS统计软件处理本试验中所有数据,其中百分率数据先作反正弦函数转换,采用新复极差法比较不同处理之间的平均数。

2 结果与分析

2.1 壳聚糖包衣对杂交水稻种子发芽率和淀粉酶活性的影响

从表1可以看出,在清水中,包衣处理后明显提高杂交水稻种子发芽率,但是增幅不大,仅为2%~3%。100 mmol/L和150 mmol/L NaCl溶液中,水稻种子发芽率基本一致,但均低于50 mmol/L NaCl溶液中。在清水中,无论是未包衣(对照)还是包衣处理,水稻种子发芽率也均低于在50

mmol/L NaCl 溶液中。从 3 种盐浓度下发芽率的均值来看, 包衣处理后均提高杂交水稻种子发芽率, 增幅在 2% ~ 4% 之间。

一般来说, 水稻种子活力高, 在发芽期间种子抗逆能力强, 发芽快且发芽率高, 而且 α 、 β 淀粉酶活性高。在清水中, 包衣处理后水稻种子 α 淀粉酶

活性无明显变化, β 淀粉酶活性升高(表 1)。在盐胁迫条件下, 随着盐浓度增加, α 、 β 淀粉酶活性均明显下降。从 3 种盐浓度下 α 、 β 淀粉酶活性的均值来看, 包衣处理后水稻种子 α 淀粉酶活性下降, 但 β 淀粉酶活性升高, 在同一品种中, 不同包衣处理之间均未见有明显差异。

表 1 种子包衣对盐胁迫条件下杂交水稻种子发芽率和淀粉酶活性的影响

Table 1 Effects of seed coating on germination percentage and activities of amylases in hybrid rice under salt stress

组合 Combination	包衣处理 Coating treatments	NaCl 浓度 NaCl concentrations (mmol/L)	发芽率 Germination percentage (%)	α 淀粉酶活性 Activities of α -amylase (units/g DW)	β 淀粉酶活性 Activities of β -amylase (units/g DW)
汕优 10	未包衣 Non-coated	0	88 de	1607.2 a	3.1 b
		50	91 bc	1406.0 d	2.7 c
		100	86 e	1289.0 e	1.7 f
		150	86 e	1134.0 f	1.5 g
	平均值 M ₁		88 B	1276.3 A	2.1 B
	壳聚糖 Chitosan	0	91 bc	1588.6 a	3.5 a
		50	94 a	1421.0 d	3.1 b
		100	88 de	1103.0 g	2.7 c
		150	88 de	1060.0 i	2.4 d
	平均值 M ₂		90 A	1194.7 B	2.7 A
	壳聚糖+ 脯氨酸 Chitosan+ Proline	0	91 bc	1576.2 a	3.5 a
		50	93 ab	1490.1 c	3.2 b
	100	89 cde	1080.2 h	2.4 d	
	150	88 de	850.0 j	1.9 e	
平均值 M ₃		90 A	1140.1 B	2.5 A	
二优培九	未包衣 Non-coated	0	90 de	1309.4 a	3.2 cd
		50	90 de	1219.0 b	3.0 d
		100	86 f	1058.0 cd	2.5 e
		150	86 f	644.2 e	1.8 f
	平均值 M ₄		87 B	973.7 A	2.4 B
	壳聚糖 Chitosan	0	93 a	1335.3 a	3.5 ab
		50	93 a	1112.4 c	3.2 cd
		100	90 de	1038.5 d	3.0 d
		150	89 e	375.4 f	2.5 e
	平均值 M ₅		91 A	842.1 B	2.9 A
	壳聚糖+ 脯氨酸 Chitosan+ Proline	0	92 abc	1358.2 a	3.8 a
		50	92 abc	1220.4 b	3.4 bc
	100	89 de	1014.4 d	3.0 d	
	150	89 de	368.2 f	1.8 f	
平均值 M ₆		90A	867.7 B	2.7 A	

注: 显著性在 0.05 的水平上, 含相同字母的处理间为不显著。M 表示某一处理在 50、100、150 mmol/L NaCl 浓度下的平均值。

Note: Significant at level of 0.05. Not significant if there are the same letters among treatments. M is mean value of certain treatment under three kinds of salt concentrations, 50, 100, 150 mmol/L NaCl.

2.2 包衣导致杂交水稻幼苗耐盐性的变化

在未包衣处理(对照)中, 杂交水稻汕优 10 幼苗耐盐指数和耐盐比率均高于二优培九, 表明汕优 10 组合耐盐性比二优培九组合强(图 1 和图 2)。据报道, 水稻耐盐性状的杂种优势并不明显^[27]。作者

推测它们的差异可能与其双亲耐盐性的强弱有关。经不同包衣处理的杂交水稻幼苗耐盐指数和耐盐比率也均显著高于对照, 其中用壳聚糖包衣处理的汕优 10 幼苗耐盐指数和耐盐比率均为最高, 而在二优培九中以壳聚糖+ 脯氨酸包衣处理效果最佳。表

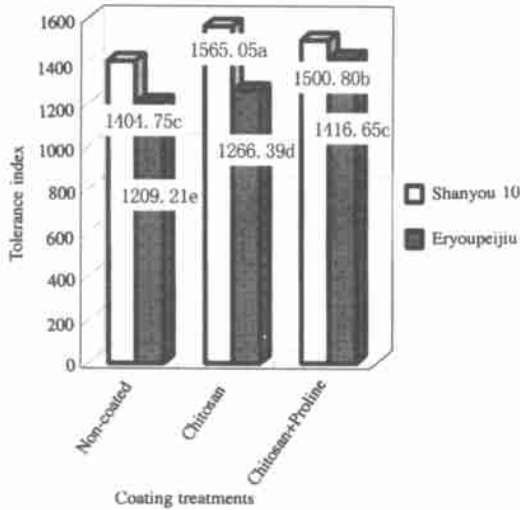


图1 种子包衣对杂交水稻幼苗耐盐指数的影响

Fig 1 Effects of seed coating on tolerance index of seedlings in hybrid rice under salt stress

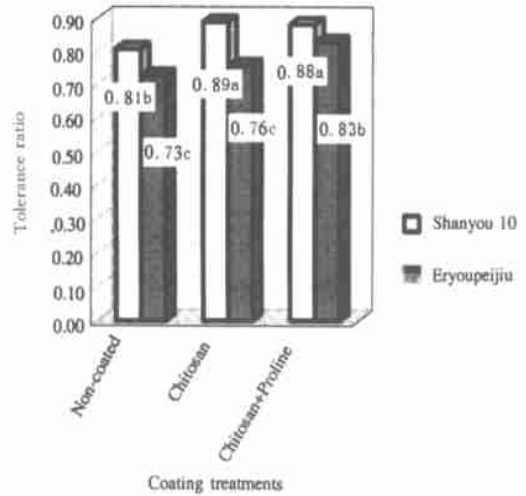


图2 种子包衣对杂交水稻幼苗耐盐比率的影响

Fig 2 Effects of seed coating on tolerance ratio of seedlings in hybrid rice under salt stress

明种子包衣处理明显提高了杂交水稻幼苗耐盐性。

2.3 包衣对盐胁迫条件下杂交水稻幼苗相容性溶质含量的影响

从表2可以看出,在清水中,包衣处理后杂交水稻幼苗脯氨酸和可溶性总糖含量均无明显变化。二优培九水稻幼苗果糖和蔗糖含量包衣处理前后基本一致。壳聚糖包衣处理后汕优10水稻幼苗的果糖和蔗糖含量均明显升高,而其余处理后未见有明显变化。在盐胁迫条件下,随着NaCl溶液浓度的增加,无论是对照(未包衣)还是包衣处理,杂交水稻幼苗的脯氨酸、可溶性总糖和果糖含量均明显上升。在50~100 mmol/L NaCl浓度范围内,不论是对照还是包衣处理,杂交水稻幼苗的蔗糖含量均明显升高,在100~150 mmol/L NaCl浓度范围内,杂交水稻幼苗的蔗糖含量未见有明显变化。

从3种NaCl浓度下,上述各指标的均值来看,壳聚糖包衣处理后明显增加杂交水稻盐胁迫后幼苗脯氨酸含量,其余处理之间均无明显差异(表2)。所有包衣处理后明显提高杂交水稻盐胁迫后幼苗可溶性总糖、果糖和蔗糖含量,但是包衣处理之间,未见有明显的差异。

在壳聚糖中添加10 mmol/L脯氨酸包衣处理降低了盐胁迫后水稻幼苗脯氨酸含量、可溶性总糖和果糖含量,表明外源脯氨酸对盐胁迫后水稻幼苗脯氨酸和可溶性总糖或果糖水平调节存在反馈抑制。此外,观察到汕优10盐胁迫后幼苗可溶性总

糖、果糖和脯氨酸含量均显著高于二优培九组合(表2),显示品种间对盐胁迫的不同反应。

3 讨论

从表1可以看出,两个供试杂交水稻品种汕优10和二优培九的原始发芽率较高,分别为88%和90%,在盐胁迫条件下,两个品种的发芽率下降幅度小或甚至不明显,这两个种子批的劣变程度浅,种子活力较高。壳聚糖包衣处理后明显提高水稻种子发芽率(不论在清水中还是在盐胁迫条件下发芽),但增幅较小,仅为2%~3%,壳聚糖包衣处理后提高杂交水稻种子活力,但增效不大。可能与两批种子的原始活力较高有关。若供试材料为较低活力种子批,包衣处理后较大幅度地提高种子活力是可能的。因此,在本试验中若能同时选用高活力和低活力种子批进行对比试验,那么壳聚糖包衣处理后明显提高水稻种子发芽率的结论证明可能会更有说服力。

β 淀粉酶活性可以作为预测种子批活力高低的生理指标,若种子 β 淀粉酶活性高,则种子批的活力也高^[28]。在本试验中观察到壳聚糖包衣处理后明显提高杂交水稻种子 β 淀粉酶活性(不论在清水中还是在盐胁迫条件下发芽),这说明壳聚糖包衣处理后可以提高杂交水稻种子活力,这与上述结论完全一致。但是壳聚糖包衣处理后提高杂交水稻种子 β 淀粉酶活性的生理机制尚未明确,有待进一步研究。

表 2 种子包衣对盐胁迫条件下杂交水稻幼苗相溶性溶质含量的影响

Table 2 Effects of seed coating on the content of compatible solutes in hybrid rice seedlings under salt stress

组合 Combination	包衣处理 Coating treatments	NaCl 浓度 NaCl concentrations (mmol/L)	脯氨酸含量 Content of proline (ug/g FW)	可溶性总糖 Content of total soluble sugar (mg Glu/g FW)	果糖含量 Content of fructose (mg/g FW)	蔗糖含量 Content of sucrose (mg/g FW)
汕优 10	未包衣 Non-coated	0	123.2 fg	5.6 e	1.02 e	0.29 e
		50	110.0 gh	5.6 e	1.04 e	0.30 de
		100	210.2 c	6.8 c	1.28 c	0.36 bc
		150	226.4 b	7.7 b	1.50 a	0.38 bc
	平均值M ₁		182.2 B	6.7 B	1.27 B	0.35 B
	壳聚糖 Chitosan	0	124.4 f	5.8 e	1.12 d	0.36 bc
		50	112.8 gh	5.7 e	1.14 d	0.37 bc
		100	226.6 b	7.7 b	1.42 b	0.39 b
		150	262.0 a	8.3 a	1.50 a	0.43 a
	平均值M ₂		200.5 A	7.2 A	1.35 A	0.40 A
	壳聚糖+ 脯氨酸 Chitosan+ Proline	0	123.0 fg	6.0 de	1.04 e	0.30 de
		50	100.8 h	6.0 de	1.06 e	0.32 cd
100		210.4 c	6.8 c	1.40 b	0.39 b	
150		227.3 b	7.9 b	1.51 a	0.42 a	
平均值M ₃		179.5 B	6.9 B	1.32 B	0.38 A	
二优培九	未包衣 Non-coated	0	127.5 d	5.4 c	1.02 de	0.23 def
		50	108.5 ef	5.4 e	1.06 d	0.21 efg
		100	141.9 c	6.2 b	1.20 c	0.33 ab
		150	160.2 bc	6.5 b	1.32 b	0.35 a
	平均值M ₄		136.9 B	6.0 B	1.19 B	0.30 B
	壳聚糖 Chitosan	0	124.2 d	5.3 c	1.07 d	0.23 def
		50	103.8 ef	5.5 c	1.09 d	0.23 def
		100	148.2 bc	7.3 a	1.29 b	0.34 ab
		150	194.7 a	6.7 a	1.42 a	0.34 ab
	平均值M ₅		148.9 A	6.4 A	1.27 A	0.32 A
	壳聚糖+ 脯氨酸 Chitosan+ Proline	0	127.2 d	5.4 c	1.01 de	0.27 cde
		50	109.4 ef	5.3 c	1.04 de	0.23 def
100		142.0 c	6.3 b	1.17 c	0.29 bcd	
150		160.3 b	7.4 a	1.40 a	0.34 ab	
平均值M ₆		137.2 B	6.4 B	1.20 B	0.34 A	

注: 显著性在 0.05 的水平上, 含相同字母的处理间为不显著。M 表示某一处理在 50、100、150 mmol/L NaCl 浓度下的平均值。

Note: Significant at level of 0.05. Not significant if there are the same letters among treatments. M is mean value of certain treatment under three kinds of salt concentrations, 50, 100, 150 mmol/L NaCl.

在干旱或盐逆境胁迫条件下, 植物细胞内会产生一些小分子渗透保护剂(或称相容性溶质)如脯氨酸、糖类、多胺等, 它们有渗透调节功能, 并有较强亲水力, 能保护细胞膜结构免遭降解或破坏^[16]。一般来说, 在干旱或盐逆境胁迫条件下, 植物细胞内相容性溶质含量升高, 植物耐旱或耐盐性增强。从表 2 可以看出, 壳聚糖包衣处理后明显增加杂交水稻盐胁迫后幼苗脯氨酸、可溶性总糖、果糖和蔗糖含量, 说明壳聚糖包衣处理可以提高杂交水稻幼苗耐盐适应性。从耐盐指数或耐盐比率来看, 壳聚

糖包衣处理后也明显提高杂交水稻幼苗耐盐性。以上两结论完全一致。壳聚糖包衣处理提高杂交水稻耐盐性是否仅在幼苗阶段有效? 能否延续到植株阶段? 这些问题尚有待于进一步研究证实。

References

- [1] Scott J M, Blair G J, Andrew s A C. The mechanics of coating seeds in a small rotating drum. *Seed Science and Technology*, 1997, 25: 281~ 292
- [2] Robani H. Film-coating horticultural seed. *Hort Technology*,

- 1994, 4: 104~ 105
- [3] Xu W-L (许为黎), Zhang Z-G (张志高), Ni X-Q (倪向群). Germination and seedling physiology characteristics of coated soybean seeds with chitosan. *Journal of China Oil Crops (中国油料)*, 1997, 19(3): 45~ 49
- [4] Chen W-D (程旺大), Lu J-X (陆建贤), Gu Z-G (顾掌根). Application effects of different seed coating materials on direct sown rice. *Seed (种子)*, 1998, 2: 63~ 65
- [5] Hamer P. Technical and commercial aspects of seed pelleting and film-coating. *Agritrade* (December), 1987, 191~ 204
- [6] Ishimoto N. Capex: the agent based on calcium peroxide. *Japanese Pesticide Information*, 1982, 41: 25~ 28
- [7] Nakamura Y, Murase H, Shibusawa S. Direct seeding with coated rice in submerged paddy field. *Agricultural Mechanic In Asia Africa and Latin America*, 1983, 14(4): 11~ 14
- [8] Ota Y S. Promotion of emergence and establishment of rice seedlings by using calcium peroxide coated seeds in direct sowing on flooded paddy fields. *JARQ*, 1982, 15(4): 221~ 226
- [9] Dadlani M, Shenoy V V, Seshu D V. Seed coating to improve stand establishment in rice. *Seed Science & Technology*, 1992, 20: 307~ 313
- [10] Xu M-L (徐卯林), Zhang H-X (张洪熙), Huang N-S (黄年生), et al. Application of high-hydroscopicity seed coating material in dry-raised scattered-transplantation rice. *Journal of Chinese Rice Science (中国水稻科学)*, 1998, 12(2): 92~ 98
- [11] Powar S L, Mehta V B. Salt tolerance of some cultivars of rice (*Oryza sativa* L.) at germination stage. *Current Agriculture*, 1995, 19(2): 43~ 45
- [12] Khan M S A, Hamid A, Karim M A. Effect of sodium chloride on germination and seedling characters of different types of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agronomy & Crop Science* 1997, 179: 163~ 169
- [13] Khatun S, Rizzo C A, Flowers T J. Genotypic variation in the effect of salinity on fertility in rice. *Plant and Soil*, 1995, 173(2): 239~ 250
- [14] Dubey R S, Singh A K. Salinity induces accumulation of soluble sugars and alters the activity of sugar metabolising enzymes in rice plants. *Biology Plantarum*, 1999, 42(2): 233~ 239
- [15] Sabu A, Sheeja T E, Nambisan P. Comparison of proline accumulation in callus and seedlings of two cultivars of *Oryza sativa* L. differing in salt tolerance. *Indian Journal of Experimental Biology*. 1995, 33(2): 139~ 141
- [16] Bohnert H J, Shen B. Transformation and compatible solutes. *Scientia Horticult*, 1999, 78: 237~ 260
- [17] Qu L-J (瞿礼嘉), Gu H-Y (顾红雅), Hu P (胡萍), Chen Z-L (陈章良). *Introduction to Modern Biotechnology (现代生物技术导论)*, China High Education Press and Springer press, 1998, 268~ 269
- [18] Chauhan V A, Prathapasanen G. Enzymatic studies in salt-tolerant and salt-susceptible rice cultivars under the influence of hydroxyproline and NaCl. *Acta Agronomica-Hungarica*, 1999, 47(2): 117~ 125
- [19] Mittal R, Dubey R S. Influence of sodium chloride salinity on polyphenol oxidase, indole 3-acetic acid oxidase and catalase activities in rice seedlings differing in salt tolerance. *Tropical Science*, 1995, 35(2): 141~ 149
- [20] Tanaka K, Hibino T, Hayashi Y, et al. Salt tolerance of transgenic rice overexpressing yeast mitochondrial Mn-SOD in chloroplasts. *Plant Science*, 1999, 148: 131~ 138
- [21] Cheah L H, Page, B B C, Shepherd R. Chitosan coating for inhibition of sclerotinia rot of carrots. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 1997, 25(1): 89~ 92
- [22] Hirano S, Yamamoto T, Hayashi M, et al. Chitinase activity in seeds coated with chitosan derivatives. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1990, 54(10): 2719~ 2720
- [23] Zhang X-Z (张宪政). *Study Methods of Crop Physiology (作物生理研究法)*. Beijing: China Agri Sci Press, 1992. 205~ 207
- [24] Xu Y-L (薛应龙). *Experimental Manual of Plant Physiology (植物生理学实验手册)*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985, 134~ 139
- [25] LaRosa P C, Singh N K, Hasegawa P M, Bressan R A. Stable NaCl tolerance of tobacco cells is associated with enhanced accumulation of osmotin. *Plant Physiology*, 1989, 91(5): 855~ 861
- [26] Sivritepe H O, Eris A, Sivritepe N. The effect of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings. *Acta Horticulturae*, 1999, 492: 77~ 84
- [27] Rogbell J E, Subbaraman N, Karthikeyan C. Heterosis in rice (*Oryza sativa* L.) under saline stress condition. *Crop Research Hissar*, 1998, 15(1): 68~ 72
- [28] Nandi S, Das G, Senmami S. Beta-amylase activity as an index for germination potential in rice. *Annals of Botany*, 1995, 75(5): 463~ 467