

水稻耐 1,2,4-三氯苯胁迫基因型的苗期筛选

陈文军¹, 张国良^{1,2}, 孙国荣¹, 戴其根¹, 张洪程¹, 陶金飞², 孙 洁², 严林锋²

(1.扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏 扬州 225009;2.淮阴工学院生命科学与化学工程学院, 江苏 淮安 223001)

摘 要:为了评定不同水稻基因型对 1,2,4-三氯苯(TCB)的耐性强弱,确定合适的筛选指标和筛选浓度,在人工气候箱条件下,采用发芽试验和砂培水稻幼苗的方法,对幼苗期水稻基因型耐 TCB 胁迫的差异性进行了鉴定,并确定了水稻基因型耐 TGB 胁迫合适的筛选指标和筛选环境。结果表明,以 0.35 mmol·kg⁻¹ 沙浓度 TCB 更适合用于水稻基因型的耐性鉴定。以发芽势、发芽率、最长根长、根数、株高、地上部干重、根干重和总干重的性状相对值(处理测定值/对照测定值×100%)作为幼苗耐性指数(tolerance index, TI),其中相对最长根长、相对株高、相对地上部分干重、相对根干重和总干重是评价水稻对 TCB 胁迫耐性强弱的较好指标。基于耐性指数对各基因型进行聚类分析,将 50 个水稻基因型聚为耐性、较耐、较敏感和敏感 4 类。

关键词:水稻;基因型;TCB 胁迫;耐性评定

中图分类号:Q945.78 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)03-1003-06

Screening of Tolerant Rice Genotypes to 1, 2, 4-Trichlorobenzene Stress at Seedling Stage

CHEN Wen-jun¹, ZHANG Guo-liang^{1,2}, SUN Guo-rong¹, DAI Qi-gen¹, ZHANG Hong-cheng¹, TAO Jin-fei², SUN Jie², YAN Lin-feng²

(1.Key Lab for Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2.College of Life Science and Chemistry Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an 223001, China)

Abstract: 1,2,4-trichlorobenzene (1,2,4-TCB) has pervaded in natural environment and industrial production. It would cause a series of problems due to its longevity and amassment. The EPA has added it into the environmental pollutant list. In order to evaluate the tolerance of the fifty rice genotypes to 1,2,4-TCB stress and identify proper screening indices and concentration, the effects of 1,2,4-TCB on the rice seed germination and seedling were studied. At first, the concentrations of 1,2,4-TCB treated 20 genotypes were 0 mmol·kg⁻¹ sand, 0.35 mmol·kg⁻¹ sand and 3 mmol·kg⁻¹ sand, and 1,2,4-TCB dissolved in 0.3 mL acetone were added into sands. The result of this experiment showed that 0.35 mmol·kg⁻¹ sand was the better screening concentration. So 0 mmol·kg⁻¹ sand and 0.35 mmol·kg⁻¹ sand were adopted to treat 50 genotypes in the latter study. Germination potential, germination rate, the longest root length, root number, plant height, the dry weight of shoot and roots of different rice varieties at seedling stage were measured. Character relative values were got from measure values of treated groups and control groups. They were used as tolerance indices (TI) of early seedlings. Cluster analysis of different wheat varieties based on TI of the longest root length, plant height, the dry weight of shoot and roots was adopted. The results showed that the fifty rice varieties could be grouped into four types, i.e. TCB sensitive varieties, relatively sensitive varieties, tolerant varieties and relatively tolerant varieties.

Keywords: rice; genotypes; TCB stress; tolerance evaluation

氯苯类有机物(chlorobenzenes,CBs)是一类在合成染料、芳香剂、农药、制药、油漆等工农业生产中有着广泛用途的化工产品,其理化性质稳定,不易降解,是

环境中存在的一类疏水性氯代有机污染物。在我国北京地区的通惠河水中 CBs 的范围为 0.093~6.638 μg·L⁻¹, 表层沉积物(干重)中 CBs 的范围为 95.3~1 827.7 ng·g⁻¹ [1],北京东南郊化工区土壤(干重)中 CBs 的范围为 0.232~51.15 ng·g⁻¹,植物(干重)中 CBs 的范围为 5.635~31.99 ng·g⁻¹ [2]。CBs 中以 1,2,4-三氯苯(1,2,4-TCB)应用较为广泛,据美国环境保护局(EPA)统计,美国 2001 年向土壤中排放了 1,2,4-TCB 3 497 kg,累计已排放 53 023 kg,EPA 已将其列入优先控制

收稿日期:2007-09-12

基金项目: 国家科技攻关计划重大项目(2004BA520A03); 国家科技支撑计划重大项目(2006BAD02A03); 江苏省高校自然科学基金基础研究面上项目(07KJD180018)

作者简介: 陈文军(1982—),男,硕士研究生,主要从事植物逆境生理与细胞生物学方面的研究工作。

通讯作者: 张国良 E-mail: hgzgl@sina.com

污染物黑名单^[3]。我国在珠三角、长三角、环渤海湾等地区 and 沈阳、兰州、西安等城市的污泥、土壤及地下水中均检测到了 1,2,4-TCB, 在水中浓度可达 $1.55 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 在污泥中其含量高达 $2.929 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}^{[4]}$ 。在土壤泥浆和活性污泥中, 1,2,4-TCB 很难降解^[5-6]。污水灌溉以及用污泥制作肥料使用, 均会导致农田中 1,2,4-TCB 的累积。Yaowu He 等研究了水稻土中 1,2,4-TCB 含量在 $0 \sim 1\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时生长一季水稻后, 稻株中 1,2,4-TCB 的含量高达 $4.01 \sim 35.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}^{[7]}$ 。王泽港等也在稻米中检测 1,2,4-TCB 的浓度达 $30 \sim 40 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DW}^{[8]}$ 。张建英等在叶菜类和根菜类蔬菜中也检测到了 1,2,4-TCB^[9], 这说明环境中该类化合物的存在将导致其在农产品中的积累, 进而通过食物链累积危害人类健康。

国内外对该类化合物的研究相当活跃, 主要集中在生态效应、生物体内的富集及其引起的毒性毒理机制等研究方面^[10-17]。Vaghef 和 Hellman^[10]报道 CBs 对鼠淋巴细胞具有显著的基因毒性, 即导致 DNA 损伤。单氯苯导致人外周淋巴细胞 DNA 损伤修复能力下降, 进而致使 DNA 突变频率增高^[11]。CBs 具有很强基因毒性的主要原因是氯苯类化合物能和 DNA 产生共价结合^[12], 其也能与蛋白质共价结合^[13], 而导致生物大分子构象的改变, 破坏酶的活性中心, 造成酶活性的下降或丧失, 从而干扰细胞的正常代谢过程。氯苯也会导致生物体内产生大量的活性氧自由基和过氧化物^[14], 并通过其损伤主要的生物大分子, 尤其是引起膜脂过氧化, 使膜透性改变。对高等植物的生态效应和毒性机理研究较少^[18, 19], 尤其是耐 1,2,4-TCB 胁迫水稻基因型的筛选相关研究未见报道。

有研究资料表明, 良种在农业增产诸因素中所占比重一般可达 30%~40%, 由品种选育到产生显著的社会经济效益, 要经过一系列的中间环节, 其中最重要的环节之一是品种的筛选鉴定^[20]。育种工作者总是希望采用比较简单的方法来评定品种表现^[21], 而有效的评价指标是进行快速、高效的耐性鉴定的关键。如何从众多指标中挑选出最具有代表性的指标, 化繁为简, 是长期以来人们最为关注的问题^[22]。要获得耐 1,2,4-TCB 胁迫的水稻种质材料, 必须做大量的种质资源筛选工作, 但对所有的品种都做全生育期试验费工时。苗期是植物生命周期的重要阶段, 也是对外界环境因子最敏感的时期之一, 苗期的生长性状可作为评价植物耐性的重要指标^[23]。因此, 可以先进行苗期筛选, 获得比较典型的材料, 并适当缩小群体, 然后

进行全生育期鉴定试验^[24]。本研究在实验室人工气候箱条件下, 采用砂培的方法在幼苗期对 50 个水稻基因型耐 1,2,4-TCB 胁迫的差异性进行了鉴定, 同时确定了水稻基因型耐 1,2,4-TCB 胁迫的合适的筛选指标和筛选环境, 为水稻优质安全生产和耐性育种提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试水稻 (*Oryza Sativa*) 50 个基因型: 水晶 3 号(1), 徐优 201(2), 南粳 40(3), 华粳 2 号(4), 淮稻 8 号(5), 镇稻 99(6), 泗阳 1382(7), 早丰 9 号(8), 农垦 57(9), 盐粳 5 号(10), ELIO(11), 徐粳 2000(12), 郑稻 5 号(13), 盐优 1 号(14), 宁恢 8 号(15), 广陵香粳(16), III 优 98(17), 南粳 39(18), R254(19), 晚粳 4003(20), 兴化 2001-4(21), 扬辐粳 4928(22), 盐优 2 号(23), 扬辐粳 4901(24), 863B(25), 镇稻 210(26), 香粳 T31(27), 武粳 13(28), 武 2401(29), 86 优 8 号(30), 常农粳 4 号(31), 武香粳 14(32), 宁粳 1 号(33), 晚粳 97(34), 武运粳 7 号(35), 镇稻 196(36), 香粳 20-18(37), 武粳 15(38), 镇稻 158(39), 苏香粳 1 号(40), 武香粳 9 号(41), 9746(42), 99-295(43), 武育 2105(44), 99298-2(45), 昆农 8 号(46), 常优 1 号(47), T118(48), R109(49), 常优 02-6(50)。按顺序分别对应编号为 1~50。供试药品: 1,2,4-三氯苯(TCB), 纯度为 96%, 购自中国医药集团上海化学试剂公司。

1.2 试验设计

用 0.3 mL 丙酮溶解 1,2,4-TCB 投入沙中, 混匀, 放置暗处直至丙酮挥发至干。试验先设 $0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 沙、 $0.35 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 沙(约 $65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 沙)和 $3 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 沙(约 $545 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 沙)3 个浓度的 1,2,4-TCB 处理 20 个水稻基因型, 确定合适筛选浓度为 $0.35 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 沙后, 再设 $0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 沙和 $0.35 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 沙 2 个浓度的 1,2,4-TCB 处理 50 个水稻基因型(包括先前的 20 个水稻基因型), 每个处理重复 3 次。

1.3 种子发芽与幼苗培养

选择健壮、饱满的水稻种子经 0.2% 的 KMnO_4 消毒 20 min, 然后用自来水、去离子水冲洗干净, 再用去离子水浸种 24 h 后, 分别播于不同浓度的 1,2,4-TCB 培养皿(规格为 $90 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$)中进行发芽, 每个培养皿装干沙 60 g, 播种 40 粒。培养皿放置在人工气候箱中。开始 2 d 设置 30°C 进行暗发芽, 以后白天 28°C , 夜晚 22°C 。实验室自然光下生长, 光照时间为 12 h。

采用木村 B 营养液培养水稻,一叶时用 1/2 浓度营养液,2 d 后用完全营养液。

1.4 测定项目与数据处理

播种后第 3 d 调查发芽势,第 7 d 调查发芽率。第 9 d 测定最长根长、根数、株高,并将地上部与地下部分离,在 105 ℃烘箱内杀青 15 min,然后 80 ℃烘干至恒重后分别称取干重。

用 Excel 进行差异显著性检验与相关分析和 DPS 软件进行聚类分析^[25]。为消除试验材料在生物学上的固有差异,采用性状相对值作为幼苗耐性指数(tolerance index, TI)。性状相对值=(0.35 mmol·kg⁻¹ 沙或 3 mmol·kg⁻¹ 沙测定值/对照测定值)×100%。各性状指标的英文缩写如下:相对最长根长(RRL)、相对根数(RRN)、相对株高(RPH)、相对发芽势(RGP)、相对发芽率(RGR)、相对地上部干重(RSW)、相对根干重(RRW)、相对总干重(RTW)。

2 结果与讨论

2.1 1,2,4-TCB 合适筛选浓度的确定

种质资源筛选和鉴定试验中的处理浓度合适,对于加大基因型间差异,使耐性差异充分表现非常有利。处理浓度太低,多数供试材料性状表现基本一致,很难区分各基因型耐性相对强弱;而处理浓度过高,许多基因型或几个基因型都被致死,显然也不行,所以两种情况都不利于有效筛选种质资源。本试验先选择 1,2,4-TCB 0.35 mmol·kg⁻¹ 沙和 3 mmol·kg⁻¹ 沙两个

处理浓度对 1~20 号水稻基因型进行处理。由表 1 和表 2 可以看出,在 2 个 TCB 处理浓度下,相对最长根长、相对根干重平均值都较小,但地上部指标、相对发芽势等的平均值相对较大,这表明地下部指标对 TCB 胁迫较为敏感。从变异系数来看,两个浓度下的相对最长根长、各相对干重的变异系数较大,说明这些指标在 TCB 胁迫下存在较大的基因型差异。两个处理浓度对水稻各指标的影响基本一致,但以 3 mmol·kg⁻¹ 沙处理的有的基因型的根长、株高等性状已经受到严重抑制,个别基因型接近死亡,所以 3 mmol·kg⁻¹ 沙的浓度已经过高。因此,选择 0.35 mmol·kg⁻¹ 沙左右作为筛选浓度比较适合。故后续研究只采用 0.35 mmol·kg⁻¹ 沙作为筛选浓度。

2.2 合适筛选指标的确定

刘宛等^[18]的研究结果表明,在 1,2,4-TCB 胁迫下,小麦种子发芽率是一个相对不敏感的指标,而初生根伸长最为敏感,植株干重亦系较为敏感指标。地上部与根部相比,后者较为敏感。本研究结果表明(表 1 和表 2),相对最长根长、相对根干重的平均值都较小,而其他各项指标的平均值相对较大,这说明地下部对 1,2,4-TCB 较为敏感,而且变异系数较大,说明这两项指标适合作为评定各基因型耐性差异的指标。

从表 1 和表 2 可以看出,相对发芽势、相对发芽率的耐性指数平均值略大于 100%,说明这两项指标受 TCB 影响较小,它们与相对最长根长、相对株高等指标呈负相关,变异系数也较小;相对根数虽然属于

表 1 3 mmol·kg⁻¹ TCB 下 20 个水稻基因型各项指标的差异
Table 1 Differences among each relative index of 20 rice genotypes under 3 mmol·kg⁻¹ TCB

基因型 Genotype	RGP	RGR	RPH	RRL	RRN	RSW	RRW	RTW
平均值 Mean	111.55	107.12	58.03	15.80	159.65	65.17	37.37	49.26
标准差 SD	27.62	23.61	11.71	9.82	49.96	15.12	21.37	16.90
变异系数 CV	24.75	22.04	20.18	62.14	31.30	23.20	57.19	34.31

表 2 0.35 mmol·kg⁻¹ TCB 下 50 个水稻各基因型各项指标的差异
Table 2 Differences among each relative index of 50 rice genotypes under 0.35 mmol·kg⁻¹ TCB

基因型 Genotype	RGP	RGR	RPH	RRL	RRN	RSW	RRW	RTW
平均值 Mean	106.31	104.66	85.31	66.90	105.57	88.26	86.53	87.12
标准差 SD	20.27	19.71	15.20	17.59	28.85	19.12	24.80	20.01
变异系数 CV	19.07	18.83	17.81	26.29	27.33	21.67	28.66	22.97

表 3 水稻基因型各项相对指标的相关性

Table 3 Correlation coefficients among relative indices of rice

指标 Index	RGP	RGR	RPH	RRL	RRN	RSW	RRW	RTW
RGP	1							
RGR	0.795**	1						
RPH	-0.081	-0.131	1					
RRL	-0.205	-0.220	0.588**	1				
RRN	-0.062	-0.027	0.154	-0.090	1			
RSW	-0.011	-0.077	0.770**	0.341*	0.085	1		
RRW	-0.171	-0.115	0.601**	0.459**	0.171	0.599**	1	
RTW	-0.138	-0.134	0.743**	0.470**	0.148	0.847**	0.931**	1

注:**表示 $P<0.01$ 的显著水平,*表示 $P<0.05$ 的显著水平。
Note:** significant at $P<0.01$ level, * significant at $P<0.05$ level.

地下部指标,但许多基因型的这项指标均在 100%以上,而且平均值达 105.57%(0.35 mmol·kg⁻¹ 沙)或 159.65%(3 mmol·kg⁻¹ 沙),这说明水稻受到 1,2,4-TCB 胁迫时根长受到抑制,可能通过增加根数来缓解环境的压力,它与其他指标呈负相关或正相关系数很小(表 3),以上事实说明相对发芽势、相对发芽率和相对根数 3 项指标作为筛选指标不合适,而其他各项指标之间呈极显著或显著相关,耐性指数平均值、标准差、变异系数适中,说明这些指标在 1,2,4-TCB 胁迫下存在着很大的基因型差异。50 个基因型按 5 项极显著相关的单项指标分别排序次序不完全相同,但是总的趋势是一致的,所以这 5 项指标可能是衡量水稻对 1,2,4-TCB 耐性相对强弱的较好指标。

2.3 不同耐性水稻种质资源的聚类分析

剔除相对发芽势、相对发芽率和相对根数 3 项指标,选择极显著或显著相关的相对最长根长、相对株高、相对地上部干重、相对根干重、相对总干重 5 项指标,采用 DPS 软件对所获得的数据进行聚类分析,用欧氏距离和离差平方和法得到聚类图,如图 1 所示。取欧式距离 1.6 (即 160%),把 50 个水稻品种聚成 4 类,并计算各类品种 5 项指标的平均值(表 4)。第 1 类包括 16 个品种,耐性指数(性状相对值)最高,属于耐

性品种;第 2 类包括 5 个品种,耐性指数较高,属于较耐品种;第 3 类包括 21 个品种,耐性指数较低,属于较敏感品种;第 4 类包括 8 个品种,耐性指数最低,属于敏感品种。

为了进一步验证本试验的结果,本文选取耐性品种 59(香粳 20-18,文中编号为 37)和敏感品种 28(泗阳 1382,文中编号为 7),在 1.0 mmol·kg⁻¹ 沙 TCB 胁迫下观察其苗的长势(见图 2)。可以看出对 TCB 的胁迫表现出明显的基因型差异,耐性品种长势要明显好于敏感品种,两个品种对照(0 mmol·kg⁻¹ 沙 TCB)的长势明显优于 1.0 mmol·kg⁻¹ 沙 TCB 胁迫的处理。

3 结论

- (1) 选择了 1,2,4-TCB 0.35 mmol·kg⁻¹ 沙 和 3 mmol·kg⁻¹ 沙 2 个处理浓度对水稻胁迫的影响,结果表明 0.35 mmol·kg⁻¹ 沙的浓度更适合进行水稻耐 1,2,4-TCB 基因型的筛选与鉴定。
- (2)水稻相对最长根长、相对株高、相对地上部干重、相对根干重、相对总干重等指标是评价水稻对 1,2,4-TCB 胁迫的耐性强弱较好指标,但若想获得确切的结论还需全生育期的田间综合鉴定。
- (3)通过聚类分析的方法,得出水晶 3 号,徐优

表 4 各耐性类型的水稻基因型及其相对指标平均值

Table 4 The numbers of the rice genotypes and their relative indices means obtained from the dendrogram showed in Fig.1

类别 Sort	基因型 Genotype	各指标平均值/% Relative indices means				
		RRL	RPH	RSW	RRW	RTW
1	1、2、33、12、36、14、22、48、25、35、43、28、26、47、37、38	86.84	98.86	100.32	108.03	104.38
2	11、45、49、17、18	48.69	86.11	109.18	115.28	112.12
3	3、19、27、4、20、29、8、15、21、50、46、40、44、5、6、31、30、34、42、10、39	62.62	83.32	83.99	75.99	79.59
4	7、9、13、24、23、41、32、16	49.66	62.94	62.26	53.24	56.73

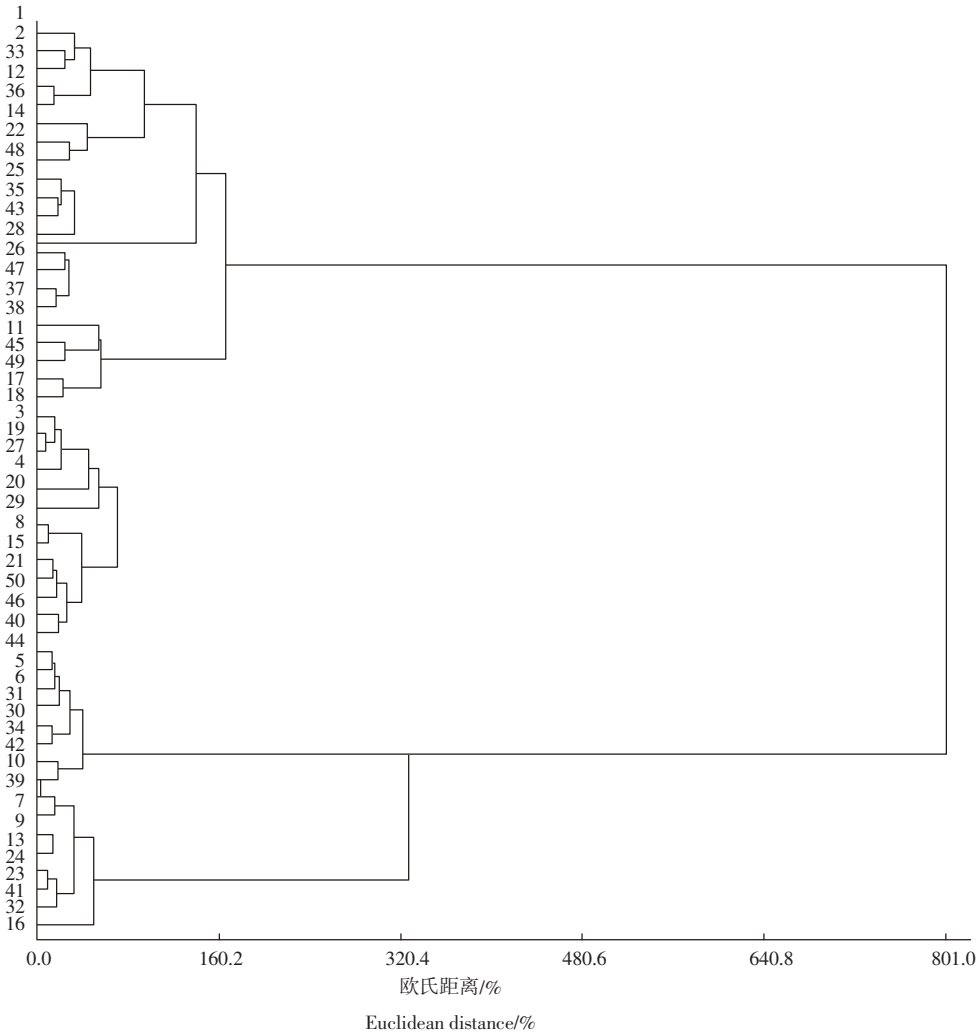


图 1 基于 0.35 mmol·kg⁻¹ TCB 处理下 5 项相对指标对 50 个基因型的聚类分析

Figure 1 Dendrogram showing the relationships of TCB-tolerance among 50 rice genotypes based on cluster analysis of the 5 relative indices under 0.35 mmol·kg⁻¹ TCB level

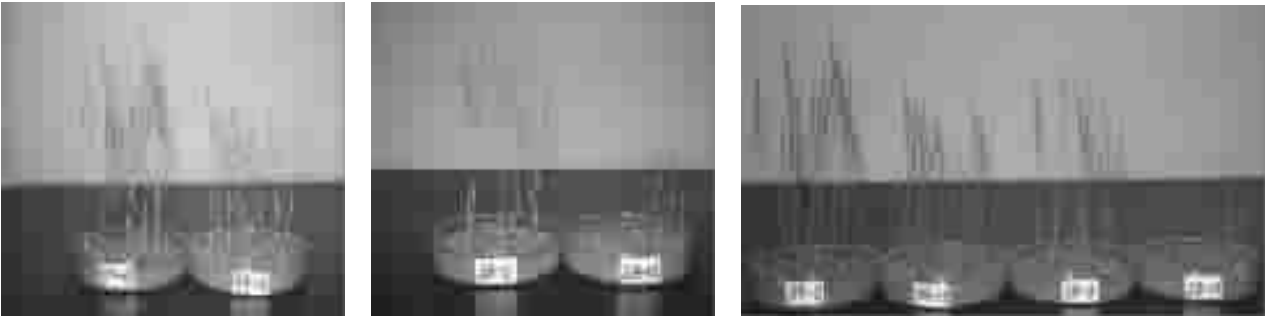


图 2 1,2,4-TCB 胁迫下耐性品种与敏感品种长势的差异

Figure 2 Difference between growth of tolerant variety and sensitive variety under TCB stress

201, 宁粳 1 号, 徐粳 2000, 镇稻 196, 盐优 1 号, 扬辐粳 4928, T118, 863B, 武运粳 7 号, 99-295, 武粳 13, 镇稻 210, 常优 1 号, 香粳 20-18, 武粳 15 属于耐性品种; 泗阳 1382, 农垦 57, 郑稻 5 号, 扬辐粳 4901, 盐优

2 号, 武香粳 9 号, 武香粳 14, 广陵香粳属于敏感品种, 这为水稻抗逆栽培和耐性品种选育提供了一定的技术依据。

参考文献:

- [1] 周霞,余刚,张祖麟,等.北京通惠河水和表层沉积物中氯苯类有机物污染现状[J].环境科学,2005,26(2):117-120.
- ZHOU X, YU G, ZHANG Z L, et al. Chlorobenzenes in water and surface sediments from Tonghui River of Beijing[J]. *Environmental Science*, 2005, 26(2): 117-120.
- [2] 周霞,余刚,黄俊,等.北京东南郊化工区土壤和植物中氯苯类有机物的残留及分布特征[J].环境科学,2007,28(2):249-254.
- ZHOU X, YU G, HUANG J, et al. Residues and distribution characters of Chlorobenzenes in soil and plants from Beijing southeast chemical industry zone[J]. *Environmental Science*, 2007, 28(2): 249-254.
- [3] Jaime D, Manuel R, Mario D. 1,2,4-Trichlorobenzene flow characteristics in saturated homogeneous and stratified porous media[J]. *Water Air and Soil Pollution*, 2006, 177: 3-17.
- [4] 蔡全英,莫测辉,吴启堂,等.部分城市污泥中氯苯类化合物的初步研究[J].环境化学,2002,21(2):139-143.
- CAI Q Y, MO C H, WU Q T, et al. Preliminary study on the content of chlorobenzenes in selected municipal sludge of China[J]. *Environmental Chemistry*, 2002, 21(2): 139-143.
- [5] Brunsbach F R, Reineke W. Degradation of chlorobenzenes in soil slurry by a specialized organism[J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 1994,42: 415-420.
- [6] Freitag D, Ballhorn L, Geyer H, et al. Environmental hazard profile of organic chemicals [J]. *Chemosphere*, 1985, 14: 1589-1616.
- [7] Yaowu H, Tieheng S, Ziqing O, et al. Fate of 1,2,4-Trichlorobenzene (1,2,4-TCB) in soil-rice paddy system [J]. *Chemosphere*, 1996, 32 (7): 1381-1389.
- [8] 王泽港,万定珍,杨亚春,等.1,2,4-三氯苯和萘对水稻产量及品质的影响[J].中国水稻科学,2006,20(3):295-300.
- WANG Z G, WAN D Z, YANG Y C, et al. Effects of 1,2,4-trichloroben and naphthalene on grain yield and quality of rice[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2006, 20(3): 295-300.
- [9] Jianying Z, Wei Z, Jun P, et al. Tissue-dependent distribution and accumulation of chlorobenzenes by vegetables in urban area[J]. *Environment International*, 2005, 31: 855-860.
- [10] Vaghef H, Hellman B. Demonstration of chlorobenzene-induced DNA damage in mouse lymphocytes using the single cell gel electrophoresis assay[J]. *Toxicology*, 1995, 96(1):19-28.
- [11] Major J, Kemeny G, Tompa A. Genotoxic effects of occupational exposure in the perip blood lymphocytes of pesticide preparing workers in Hungary[J]. *Acta Med Hung*, 1992-93, 49(1-2):79-90.
- [12] Greim H. Mechanistic and toxicokinetic data reducing uncertainty in risk assessment[J]. *Toxicol Lett*, 2003, 138(1-2):1-8.
- [13] Den Besten C, Smink M C, De Vries E J. Metabolic activation of 1,2,4-trichlorobenzene and pentachlorobenzene by rat liver microsomes: a major role for quinone metabolites [J]. *Toxicol Appl Pharmacol*, 1991,108(2):223-233.
- [14] Gallard H, De Laat J. Kinetics of oxidation of chlorobenzenes and phenyl-ureas by Fe(II)/H₂O₂ and Fe(III)/H₂O₂. Evidence of reduction and oxidation reactions of intermediates by Fe(II) or Fe(III)[J]. *Chemosphere*, 2001, 42(4):405-413.
- [15] Schroll R, Brahushi F, Dörfler, et al. Biomineralisation of 1,2,4-trichlorobenzene in soils by an adapted microbial population[J]. *Environmental Pollution*, 2004, 127:395-401.
- [16] 徐晓白,戴树桂,黄玉瑶.典型化学污染物在环境中的变化及生态效应[M].北京:科学出版社,1998.55-165.
- XU X B, DAI S G, HUANG Y Y. The change and its ecological effects of typical chemistry pollutant [M]. Beijing: Science Press, 1998. 55-165.
- [17] Kong F X, Hu W, Liu Y. Molecular structure and biochemical toxicity of four halogeno-benzenes on the unicellular green alga[J]. *Environ Exper Bot*, 1998,40:105-111.
- [18] 刘宛,宋玉芳,周启星,等.氯苯胁迫对小麦种子发芽和幼苗生长的影响[J].农业环境保护,2001,20(2):65-68.
- LIU W, SONG Y F, ZHOU Q X, et al. Effect of chlorobenzene-stress on seed germination and Seedling Growth of Wheat[J]. *Agro-environmental Protection*, 2001, 20(2): 65-68.
- [19] 杜青平,贾晓珊,袁保红.1,2,4-TCB对水稻种子萌发及幼苗生长的毒性机理[J].应用生态学报,2006,17(11):2185-2188.
- DU Q P, JIA X S, YUAN B H. Toxic effects of 1,2,4-trichlorobenzene on rice seed germination and seedling growth[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(11): 2185-2188.
- [20] 王书子,吴少辉,高海涛,等.旱地小麦品种筛选鉴定及其形态特征探讨[J].干旱地区农业研究,2001,19(2):76-80.
- WANG S Z, WU S H, GAO H T, et al. Study on selecting and identifying method and characteristics of dryland wheat varieties [J]. *Agricultural Research in the Arid Area*, 2001, 19(2): 76-80.
- [21] 兰居生,胡顺福,张景瑞.作物抗旱指数的概念和统计方法[J].华北农学报,1990,5(2):20-25.
- LAN J S, HU S F, ZHANG J R. The concept and statistical resistance index method of drought in crops[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1990, 5(2): 20-25.
- [22] 冀天会,张灿军,谢惠民,等.小麦品种抗旱性鉴定产量指标的比较研究[J].中国农学通报,2006,22(1):103-106.
- JI T H, ZHANG C J, XIE H M, et al. A comparative study on yield index of wheat varieties drought resistance [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(1):103-106.
- [23] 肖美秀,林文雄,陈冬梅,等.耐Cd水稻种质资源的筛选[J].福建农林大学学报(自然科学版),2006,35(2):117-122.
- XIAO M X, LIN W X, CHEN D M, et al. Selection of rice germplasm tolerant to cadmium stress[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2006, 35(2): 117-122.
- [24] 郭再华,贺立源,徐才国,等.水稻耐低磷种质资源的筛选鉴定指标[J].作物学报,2005,31(1):65-69.
- GUO Z H, HE L Y, XU C G, et al. Indexes for screening and identify of rice tolerance to low-P stress [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2005,31(1): 65-69.
- [25] 唐启义,冯明光.实用统计分析及其DPS数据处理系统[M].北京:科学出版社,2002.332-335.
- Tang Q Y, Feng M G. DPS data processing system for practical statistics[M]. Beijing: Science Press, 2002.332-335.