

不同玉米品种萌发期耐芘胁迫的响应差异

陈倩婷¹, 谭嘉宝¹, 许超^{1,2,3}, 张玮萍¹, 吴启堂^{1,2,3}

(1.华南农业大学资源环境学院, 广州 510642; 2.农业部生态农业重点开放实验室, 广州 510642; 3.华南农业大学 广东省高等学校农业生态与农村环境重点实验室, 广州 510642)

摘要:为了评定不同玉米品种对芘的耐性强弱,确定合适的筛选指标和筛选浓度,以 $0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (T0,对照)、 $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (T1)、 $1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (T2)和 $2.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (T3)4个芘处理浓度,采用毒理学试验方法系统评价了14个玉米品种萌发期耐芘胁迫的差异。结果表明,不同品种玉米根干重、芽干重、根长和芽长都受到芘的影响,且这种影响的程度随着芘处理浓度不同而不同,不同品种玉米萌发对不同芘处理浓度的响应也不同,其中 $2.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的浓度处理适合进行玉米耐芘品种的筛选与鉴定。以根干重、芽干重、总干重、根长和芽长的性状相对值(处理测定值/对照测定值 $\times 100\%$)作为幼苗耐性指数(tolerance indices, TI)适合作为筛选指标。基于耐性指数对各玉米品种耐性进行聚类分析,将14个玉米品种聚为耐性、较耐性、较敏感和敏感4类。

关键词:玉米品种;芘;耐性评定;萌发

中图分类号:Q945.78 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)06-1044-06

Responding Differences of Germinating of Maize Cultivars to Pyrene Contamination

CHEN Qian-ting¹, TAN Jia-bao¹, XU Chao^{1,2,3}, ZHANG Wei-ping¹, WU Qi-tang^{1,2,3}

(1.College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2.Key Laboratory of Ecological Agriculture, Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, Guangzhou 510642, China; 3.Key Laboratory of Agroecology and Rural Environment of Guangdong Regular Higher Education Institutions, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In order to evaluate the tolerance of maize germinating to pyrene stress and identify proper screening indices and concentration, the effects of pyrene contamination on germinating of maize seeds were studied, and fourteen cultivars of maize were chosen. The concentrations of pyrene were set in 0, 0.5, 1.0 and $2.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. The dry weight of root and shoot, root length and shoot height of different maize cultivars at germinative stage were measured. Results showed that all parameters, dry weight of root and shoot, root length and shoot height, at this stage were impacted under pyrene contamination. The extents of the impact of different treatments of pyrene were different, and the responses of germinating of these different cultivars to different concentrations of pyrene were also different. The high concentration of $2.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of pyrene used might be adopted to evaluate the impact of pyrene contamination to those cultivars. Some characteristic parameters were used, such as tolerance indices (TI) to measure the impact of different treatments, including pyrene concentration and cultivars. Result of cluster analysis with TI of each treatment showed that, the fourteen cultivars could be clustered into four groups, which are group I to be high sensitive to pyrene contamination (including Heizuanzi, Meibainuo 1 and Huabao 1), group II to be relatively sensitive (including Huabao 8, Sui 1, Shixiang 1, Guangnuo 1 and Guangtian 1), group III to be tolerant (including Gannuo 1, Zhutian 1, Suitian 2, Jiamei 2 and Fengtian 1) and group IV to be strong tolerant (including Guangtian 3).

Keywords: maize cultivars; pyrene; tolerance evaluation; germination

多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)是环境中普遍存在的一类典型的持久性有机污染物(persistent organic pollutants, POPs),具有慢性毒性和

致癌、致畸、致突变的“三致”作用,其中16种被美国环保署^[1]和欧盟^[2]列为优先控制的有机污染物。据相关研究表明,良种在农业增产诸多因素中占有十分重要的地位,由良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^[3]。筛选出耐多环芳烃胁迫的作物品种,充分挖掘优良耐性品种的遗传潜力,是促进农业高效发展的新途径,对作物的高效安全生产具有重要意义

收稿日期:2009-11-01

基金项目:广东省自然科学基金项目(9451064201003780);华南农业大学校长基金(K09219);华南农业大学大学生科技创新项目(L09131)

作者简介:陈倩婷(1989—),女,广东中山人,本科生,专业为环境工程。

通讯作者:许超 E-mail:xuchao1388@126.com

义。近年来国内外有关 PAHs 对植物影响的研究相当活跃,主要集中在 PAHs 胁迫对植物生长的影响^[4-6]和植物对 PAHs 胁迫的生理响应^[7-13]。玉米是世界上分布最广的农作物之一,有关 PAHs 对玉米毒性和生长发育影响的研究较为少见^[14],而耐多环芳烃胁迫玉米品种的筛选相关研究尚未见报道。

要获得耐苊胁迫的玉米种质材料,传统研究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费时。种子萌发是种子植物生活史中的关键阶段,也是对外界环境因子最敏感的时期之一,萌发期的生长性状可以作为评价植物耐性的重要指标^[15]。因此,可以先进行萌发期筛选,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^[16-17]。鉴于此,本研究以 14 种高产、质优、且在珠江三角洲地区农业生产实践中应用较为广泛的玉米品种为材料,采用毒理学试验方法系统评价玉米品种萌发期对苊胁迫响应的品种研究,提出简单、准确的玉米耐苊胁迫的筛选指标和筛选环境,为玉米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

选用 14 个玉米品种,具体如表 1。供试药品苊(Pyrene,纯度>98%),为 Aldrich 公司产品。

表 1 试验中所用的玉米品种名称及编号

Table 1 Names of the maize cultivars used in the experiment and their codes

编号	品种名称	编号	品种名称
1	黑钻紫糯玉米	8	广甜三号
2	华宝甜八号	9	美白一号糯玉米
3	赣糯一号	10	穗甜一号
4	市祥一号甜糯玉米	11	穗甜二号
5	珠甜一号	12	佳美二号甜玉米
6	丰甜一号	13	广糯一号甜糯玉米
7	华宝一号甜	14	广甜二号

1.2 试验方法

于洗净灭菌的 10 cm 培养皿中垫上两层滤纸,参考卢晓丹等的研究成果^[18],本试验设置 0 mg·L⁻¹ (T0, 对照)、0.5 mg·L⁻¹ (T1)、1.0 mg·L⁻¹ (T2)、2.0 mg·L⁻¹ (T3) 4 个苊处理,每个处理重复 3 次,分别播入 10 粒经常规催芽露白的供试玉米种子。在室温(白天 30~36 ℃,夜间 22~28 ℃)条件下培养一周。培养期间,每日通过称重差减法,以去离子水补充损失的水分。一

周后,测定玉米的最长根长、芽长,并将地上部与地下部分离,在 105 ℃烘箱内杀青 15 min,然后 75 ℃烘干至恒重后称取干重。

1.3 数据分析处理

用 SPSS 数据处理软件进行差异显著性检验、相关分析和聚类分析。为消除不同玉米品种间固有的生物学和遗传性特性差异,本试验采用性状相对值作为幼苗耐性指数(tolerance index, TI):

性状相对值=(苊胁迫下的测定值/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)、相对芽长(RSH)、相对根干重(RRW)、相对地上部干重(RSW)和相对总干重(RTW)。

2 结果与分析

2.1 不同浓度苊处理下不同品种玉米的生物量、根长和芽长

不同浓度条件下,不同品种玉米根干重、芽干重和总干重都受到苊的影响,这种影响的程度随着苊处理浓度不同而不同,不同品种玉米茎叶和根对不同苊处理浓度的响应也不同(表 2)。在试验浓度范围内,随着苊胁迫浓度的增大,1 号、7 号和 11 号品种根干重呈现逐渐减小的趋势,T0 处理下其根干重最大;2、3、4、5、6、9、10、12、13 和 14 号品种根干重表现为先增加后逐渐减小的趋势,在 T1 处理下其根干重最大;8 号品种根干重表现为逐渐增大的趋势(表 2)。在试验浓度范围内随着苊胁迫浓度的增大,1、2、5、7、11、12 和 14 号品种芽干重呈现逐渐减小的趋势,T0 处理下其芽干重最大;3、4、6、9、10 和 13 号品种芽干重表现为先增加后逐渐减小的趋势,在 T1 处理下其芽干重最大;8 号品种芽干重表现为逐渐增大的趋势(表 2)。在试验浓度范围内随着苊胁迫浓度的增大,1、7、11、12 和 14 号品种总干重表现为呈现逐渐减小的趋势,T0 处理下其总干重最大;2、3、4、5、6、9、10 和 13 号品种总干重表现为先增加后逐渐减小的趋势,在 T1 处理下其总干重最大;8 号品种总干重表现为逐渐增大的趋势(表 2)。由此可见,不同品种玉米生物量存在的差异与品种自身的差异有关,在一定的苊处理浓度下,不同品种玉米幼苗生物量对苊胁迫的响应不同。

与 T0 处理(对照)相比,T1 处理下 1 和 7 号品种根干重显著降低,2 和 4 号品种根干重显著增加;T2 处理下 1 和 7 号品种根干重显著降低;T3 处理下 1、4、6、7、9、10、11 和 13 号品种根干重显著降低,8 号品

种根干重显著增加(表2)。与 T0 处理(对照)相比,T1 处理下 1 和 7 号品种芽干重显著降低,4、9 和 13 号品种芽干重显著增加;T2 处理下 1、7 和 12 号品种芽干重显著降低,8 号品种芽干重显著增加;T3 处理下 1、7、9、10、11、12、13 和 14 号品种芽干重显著降低,8 号品种芽干重显著增加(表 2)。与 T0 处理(对照)相比,T1 处理下 1 和 7 号品种总干重显著降低,8 号品种总干重显著增加;T2 处理下 1、7 和 14 号品种总干重显著降低,8 号品种总干重显著增加;T3 处理下 1、2、3、4、7、9、10、11、12、13 和 14 号品种总干重显著降低,8 号品种总干重显著增加(表 2)。

不同浓度条件下,不同品种玉米根长和芽长都受到盐的影响,但是这种影响的程度随着盐处理浓度不同而不同,不同品种玉米根长和芽长对不同盐处理浓度的响应也不同(表 3)。在试验浓度范围内随着盐胁迫浓度的增大,1、2、9、11 和 14 号品种根长表现为逐渐减小的趋势,T0 处理下其根长最大;3、4、5、6、7、10、12 和 13 号品种根长表现为先增加后逐渐减小的趋势,在 T1 处理下其根长最大;8 号品种根长表现为逐渐增大的趋势(表 3)。在试验浓度范围内随着盐胁迫浓度的增大,1、3、7、12 和 14 号品种芽长表现为逐渐减小的趋势,T0 处理下其芽长最大;2、4、5、9、10、11 和 13 号品种芽长表现为先增加后逐渐减小的趋势,在 T1 处理下其芽长最大;8 号品种芽长表现为逐

渐增大的趋势(表 3)。由此可见,不同品种玉米根长和芽长存在的差异与品种自身的差异有关,在一定的盐处理浓度下,不同品种玉米幼苗根长和芽长对盐胁迫的响应不同。

与 T0 处理(对照)相比,T1 处理下 14 号品种根长显著降低,10 号品种根长显著增加;T2 处理下 9、10、13 和 14 号品种根长显著降低;T3 处理下 1、2、4、7、9、10、12、13 和 14 号品种根长显著降低(表 3)。与 T0 处理(对照)相比,T1 处理下 1、7、12 和 14 号品种芽长显著降低,4 和 9 号品种芽长显著增加;T2 处理下 1、2、3、4、7、9、11、12、13 和 14 号品种芽长显著降低,8 号品种芽长显著增加;T3 处理下 1、2、3、4、7、9、10、11、12、13 和 14 号品种芽长显著降低,8 号品种芽长显著增加(表 3)。

值得注意的是,较低浓度盐可在一定程度上刺激玉米的生长,2、3、4、5、6、8、9、10、12、13 和 14 号品种 T1 处理根干重大于 T0 处理,3、4、6、8、9、10 和 13 号品种 T1 处理芽干重大于 T0 处理,2、3、4、5、6、8、9、10 和 13 号品种 T1 处理总干重大于 T0 处理,3、4、6、7、8、12 和 13 号品种 T1 处理根长大于 T0 处理,2、4、5、8、9、10、11 和 13 号品种 T1 处理芽长大于 T0 处理。低浓度污染物的刺激作用在其他高等植物也得到了证实^[9]。可能是因为多数植物生长激素如生长素和赤霉素大都具有与 PAHs 类似的环状结构,生长素和赤

表 2 不同品种玉米萌发期生物量

Table 2 Biomass of different maize cultivars in germination stage

品种 编号	根干重/mg·棵 ⁻¹				芽干重/mg·棵 ⁻¹				总干重/mg·棵 ⁻¹			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
1	14.2±0.2a	10.5±1.0b	10.6±1.8b	9.1±1.7b	23.4±0.30a	17.8±2.44b	16.6±1.45b	12.1±0.29c	37.6±0.3a	28.3±3.3b	27.2±2.2b	21.3±1.5c
2	17.6±2.6b	21.1±1.0a	15.3±1.4b	14.3±1.1b	22.4±3.71a	21.9±1.18a	19.6±1.76a	18.6±0.89a	39.9±4.9ab	43.0±2.0a	34.9±1.5bc	32.9±1.8c
3	11.8±1.4ab	14.5±2.0a	13.1±1.4ab	11.0±1.3b	33.3±1.7b	37.7±3.0a	31.7±2.7a	29.1±0.5b	45.0±1.0b	52.2±2.2a	44.8±3.6b	40.2±0.8c
4	12.8±0.8b	16.2±1.5a	11.3±0.6b	8.8±0.5c	24.2±1.1b	29.0±1.5a	22.5±3.4b	20.2±3.4b	37.0±1.7b	45.2±0.2a	33.7±3.9bc	29.0±3.6c
5	8.5±0.5b	10.7±1.7a	9.2±0.8ab	8.4±0.7b	22.8±2.3a	22.7±4.5a	21.9±0.9a	21.1±1.1a	31.3±1.9a	33.4±6.2a	31.1±0.2a	29.4±1.8a
6	11.8±1.8ab	12.7±1.3a	9.5±1.1bc	8.7±1.0c	22.6±0.3a	23.0±0.8a	22.4±2.3a	22.3±1.7a	34.4±1.7ab	35.7±1.7a	31.9±2.6ab	31.0±2.1b
7	13.3±1.0a	11.0±0.9b	10.1±0.6b	9.3±1.1b	40.4±0.6a	34.5±1.9b	30.1±2.2c	21.8±2.7d	53.8±1.2a	45.5±1.7b	40.3±2.7c	31.2±3.5d
8	12.6±0.4b	13.9±1.3ab	14.9±2.6ab	15.8±1.0a	18.1±0.2c	18.5±1.8bc	20.63±1.5ab	21.5±1.2a	30.7±0.4c	32.4±3.0bc	35.5±2.8ab	37.2±0.4a
9	10.1±1.4ab	11.8±0.8a	9.3±1.1b	5.7±0.6c	23.3±1.9b	29.1±1.6a	20.6±3.5b	14.6±2.0c	33.4±0.6b	40.9±2.3a	29.9±4.4b	20.3±1.6c
10	9.2±0.4b	11.6±1.0a	8.5±0.4b	7.0±0.5c	23.5±2.3a	23.9±2.1a	20.4±1.8ab	18.3±0.5b	32.7±2.0ab	35.4±2.8a	28.9±2.2bc	25.3±0.5c
11	9.4±1.1a	9.4±0.4a	8.3±0.4ab	8.1±0.4b	22.8±1.6a	22.6±2.1a	19.7±3.0ab	18.2±1.1b	32.2±2.5a	32.0±2.4a	28.0±2.7ab	26.3±1.5b
12	11.1±1.4ab	13.0±1.4a	12.3±0.6ab	10.5±0.3b	30.4±2.6a	23.6±3.9ab	22.6±4.8b	21.1±3.4b	41.6±3.4a	36.6±5.3ab	34.9±4.3ab	31.6±3.1b
13	11.4±1.2a	12.9±1.3a	11.3±0.4a	8.4±1.1b	26.6±5.2b	35.6±1.3a	22.4±2.5bc	20.1±3.1c	38.1±6.3b	48.5±2.3a	33.6±2.2bc	28.5±3.6c
14	11.5±0.4a	11.7±2.5a	11.3±1.6a	8.8±0.3a	21.9±2.7a	18.5±3.5ab	17.7±0.7ab	15.1±1.6b	33.4±2.3a	30.2±1.8ab	29.0±2.2b	24.0±1.8c

注:同一行不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Values followed by different letters in one row were significantly different at $P<0.05$ using Duncan's test. The same below.

表 3 不同品种玉米萌发期根长和芽长

Table 3 Root length and shoot height of different maize cultivars in germination stage

品种编号	根长/cm				芽长/cm			
	T0	T1	T2	T3	T0	T1	T2	T3
1	12.4±2.6a	11.0±2.3ab	8.9±0.4ab	7.8±0.6b	15.8±1.3a	12.0±0.3b	12.0±0.3b	12.0±1.3b
2	17.4±3.0a	17.0±0.6a	15.8±0.6a	12.4±0.9b	11.7±1.0a	12.0±0.7a	9.6±0.7b	8.8±0.6b
3	14.9±2.7ab	16.5±3.6a	13.4±0.2ab	11.4±0.5b	17.5±1.1a	16.7±0.7a	13.7±1.0b	13.0±0.4b
4	16.0±0.9ab	18.0±2.4a	13.6±0.8b	10.1±0.3c	17.7±1.0b	22.9±1.3a	15.6±1.0c	14.6±0.6c
5	14.2±2.3ab	16.1±1.2a	12.4±0.9b	12.0±0.8b	16.5±0.4ab	18.3±1.0a	17.5±1.0ab	15.5±1.7b
6	15.6±0.5a	16.0±1.7a	14.1±0.4a	13.7±1.6a	17.9±0.6a	17.3±0.3a	17.3±2.1a	19.0±2.3a
7	12.3±0.8a	13.1±1.3a	11.7±1.2a	9.7±0.8b	22.8±2.4a	15.1±1.3b	13.7±0.8b	12.6±1.0b
8	16.2±1.9a	17.3±0.9a	17.5±0.4a	18.0±1.2a	12.8±0.7c	13.3±0.4bc	14.6±1.3b	16.3±0.5a
9	12.3±1.2a	10.8±1.3ab	9.7±0.5b	7.3±0.2c	13.9±1.1b	16.5±0.6a	11.2±0.8c	9.5±0.3d
10	12.5±0.2b	15.3±0.9a	11.2±0.6c	9.6±0.1d	15.6±0.9a	17.6±1.1a	15.8±1.5a	12.4±1.3b
11	10.8±0.5a	10.7±0.8a	10.1±0.8a	9.8±1.0a	14.0±0.7b	15.5±0.1a	12.4±0.7c	11.0±1.0d
12	11.3±0.2a	12.1±0.9a	11.5±1.6a	8.8±0.2b	18.1±1.5a	16.1±0.8b	13.5±0.6c	11.0±0.6d
13	13.0±1.0b	16.3±0.5a	10.6±0.4c	8.3±0.7d	15.9±1.7a	16.3±0.7a	13.4±1.3b	10.9±1.3c
14	16.3±0.2a	13.0±1.5b	11.6±1.2b	8.6±0.6c	12.5±1.1a	9.6±1.0b	9.0±0.9bc	7.8±0.2c

霉菌促进植物茎的延长，生长素则抑制根的伸长。PAHs 可能因为这种结构的相似性而具有与生长激素类似的作用。较低浓度茚可适当的刺激玉米的生长具有光谱性的特点，与玉米品种关系不大。

2.2 茚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,对于加大品种间差异，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,很难区分各品种耐性相对强弱;而处理浓度过高,许多品种或几个品种都被致死,显然也不行,所以两种情况都不利于有效筛选种质资源。

本研究选择茚 0.5、1.0 和 2.0 mg·L⁻¹ 3 个处理浓度，由表 4 可以看出,0.5 mg·L⁻¹ 茚处理下相对根干重、相对芽干重、相对总干重和相对根长平均值均在 100 以上,表明此处理浓度太低,多数供试材料性状表现基本一致,很难区分各玉米品种对茚耐性的相对强弱。从变异系数来看,在 1.0 和 2.0 mg·L⁻¹ 茚处理浓度下,相对根干重、相对芽干重、相对总干重、相对根长和相对芽长的变异系数较大,说明这些指标在茚胁迫下存在较大的品种差异。1.0 和 2.0 mg·L⁻¹ 两个茚处理浓度对玉米幼苗各指标的影响基本一致，但以 2.0 mg·L⁻¹ 的茚处理各项指标的平均值更低，变异系数更低,因此选择 2.0 mg·L⁻¹ 作为筛选浓度比较适合(表 4)。为了便于分析,下文的图和表仅列出 2.0 mg·L⁻¹ 茚处理的数据,且仅对 2.0 mg·L⁻¹ 茚处理的数据展开分析。

2.3 玉米耐茚品种的筛选指标

从表 5 可以看出,相对根干重、相对芽干重、相对总干重、相对根长和相对芽长指标两两之间均呈显著或极显著正相关(表 5)。相对根干重、相对芽干重、相对总干重、相对根长和相对芽长等个性指标的变异幅度以及变异系数(表 4)都较大,其中以相对根干重的变异幅度和变异系数最大、其次是相对根长。由此说明，这些指标在茚胁迫下存在着很大的品种差异,说明这些指标可能是衡量玉米对茚耐性相对强弱的较好指标。

2.4 玉米耐茚品种的筛选

选择相对根干重、相对芽干重、相对总干重、相对根长和相对芽长 5 项指标,经归一化处理后采用欧式距离和离差平方和法进行聚类分析(图 1)。取欧式距离 4.00,把 14 个玉米品种聚成 4 类,并计算各类品种 5 项指标的平均值(表 6)。第一类包括 3 个品种,耐性指数(性状相对值)最低,属于敏感品种;第二类包括 5 个品种,耐性指数较低,属于较敏感品种;第三类包括 5 个品种,耐性指数较高,属于较耐品种;第四类包括 1 个品种,耐性指数最高,属于耐性品种。

3 结论

(1)不同品种玉米萌发期根干重、芽干重、总干重、根长和芽长都受到茚的影响,但是这种影响的程度随着茚处理浓度不同而不同,不同品种玉米萌发对不同茚处理浓度的响应也不同。

表 4 玉米各品种各项相对指标的差异(%)

Table 4 Differences of each relative index among 14 cultivars at pyrene treatment(%)

品种编号	相对根干重(RRW)			相对芽干重(RSW)			相对总干重(RTW)			相对根长(RRL)			相对芽长(RSH)		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	74.35	74.82	64.47	75.93	70.94	51.85	75.33	72.40	56.61	88.68	72.24	63.34	76.32	75.90	76.11
2	120.30	87.10	81.59	97.91	87.78	83.16	107.76	87.48	82.47	97.51	90.80	71.26	104.27	81.77	75.50
3	122.95	111.61	94.33	113.43	95.29	87.58	115.91	99.56	89.34	110.96	90.16	76.29	95.25	78.33	74.14
4	126.23	87.79	68.83	120.14	92.97	83.59	122.25	91.17	78.47	112.29	85.00	62.92	129.14	87.97	82.14
5	126.77	108.66	98.82	99.27	95.77	92.26	106.71	99.25	94.04	113.15	87.56	84.27	110.91	106.06	94.14
6	82.5	76.00	70.00	102.07	99.26	98.67	85.47	74.91	57.99	102.35	90.17	88.03	96.47	96.47	106.13
7	82.50	76.00	70.00	85.33	74.53	54.00	84.57	74.91	57.99	105.95	95.14	78.92	66.23	60.09	55.12
8	110.58	117.99	125.13	102.21	114.21	118.82	105.65	115.76	121.41	106.58	108.23	110.91	104.18	114.10	127.68
9	116.45	91.78	56.25	124.89	88.56	62.66	122.33	89.53	60.72	87.77	79.35	59.51	119.23	80.53	68.75
10	125.72	92.39	75.72	101.70	86.79	78.13	108.47	88.37	77.45	122.13	89.87	76.80	113.06	101.50	79.44
11	100.53	87.77	85.82	98.98	86.13	79.85	99.38	86.76	81.59	98.77	93.21	91.05	110.74	88.78	78.52
12	116.47	110.18	94.61	77.55	74.26	69.33	87.97	83.88	76.10	107.40	102.07	78.40	88.97	74.26	60.48
13	112.54	98.54	73.47	133.67	83.98	75.34	127.32	88.35	74.78	125.64	81.28	64.10	102.52	84.28	68.34
14	101.74	98.26	77.03	84.47	80.82	69.10	90.41	86.81	71.83	79.59	71.02	52.45	77.07	72.27	62.67
平均值	110.14	94.51	81.42	101.25	87.95	78.88	104.13	89.78	79.49	104.20	88.29	75.59	99.60	85.88	79.23
标准差	16.10	13.62	17.44	17.26	11.39	17.75	15.35	10.58	16.71	12.97	10.27	15.17	17.64	14.58	19.19
变异系数	14.61	14.41	21.43	17.05	12.95	22.50	14.74	11.79	21.01	12.44	11.63	20.07	17.72	16.97	24.22

表 5 玉米品种各项相对指标的相关性					
Table 5 Correlation coefficients among relative indices					
指标	相对根干重	相对芽干重	相对总干重	相对根长	相对芽长
相对根干重	1.000	0.742**	0.871**	0.765**	0.590*
相对芽干重		1.000	0.975**	0.704**	0.870**
相对总干重			1.000	0.761**	0.839**
相对根长				1.000	0.719**
相对芽长					1.000

注:* 和 ** 分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平上差异显著。

Note: * and ** indicated significance under $P<0.05$ and $P<0.01$ respectively.

(2)本研究采用毒理学试验方法,选择 0.5、1.0 和 $2.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 3 个苊处理浓度研究玉米品种萌发期耐苊胁迫的差异,结果表明在本试验条件下 $2.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的浓度处理适合进行玉米耐苊品种的筛选与鉴定。玉米

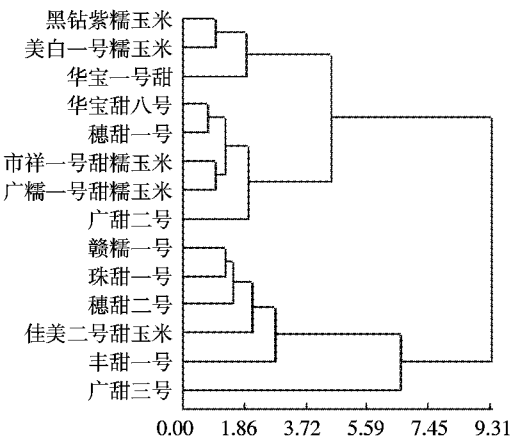


图 1 基于 $2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 苊处理下 5 项相对指标对 14 个品种的聚类分析

Figure 1 Dendrogram of cluster analysis of 14 cultivars based on the 5 relative indices at $2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ pyrene of level

表 6 各耐性类型的玉米品种及其相对指标平均值						
Table 6 The numbers of the maize genotypes and their relative indices means obtained from the dendrogram showed in figure 1						
类别	品种	相对指标平均值/%				
		RRW	RSW	RTW	RRL	RSH
1	黑钻紫糯玉米、美白一号糯玉米、华宝一号甜	63.57	56.17	58.44	67.26	66.66
2	华宝甜八号、穗甜一号、市祥一号甜糯玉米、广糯一号甜糯玉米、广甜二号	75.33	77.86	77.00	65.61	73.62
3	赣糯一号、珠甜一号、穗甜二号、佳美二号甜玉米、丰甜一号	89.48	85.54	86.24	83.61	82.68
4	广甜三号	125.13	118.82	121.42	110.91	127.68

幼苗相对根干重、相对芽干重、相对总干重、相对根长和相对芽长指标是评价玉米对砒胁迫的耐性强弱较好指标,但若想获得确切的结论还需进行全生育期的田间试验综合鉴定。

(3)通过聚类分析的方法,得出广甜3号属于耐性品种;黑钻紫糯玉米、美白一号糯玉米和华宝1号甜属于敏感品种,为玉米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] Jian Y, Wang L, Peter P, et al. Photomutagenicity of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons from the US EPA priority pollutant list[J]. *Mutation Research*, 2004, 557:99-108.
- [2] Wild S R, Jones K C. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: A preliminary source inventory and budget[J]. *Environment Pollution*, 1995, 88:91-108.
- [3] 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 Shu-zi, WU Shao-hui, GAO Hai-tao, et al. Study on selecting and identifying method and characteristics of dryland wheat varieties[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, 19(2):76-80.
- [4] Ren L, Huang X D, Mcconkey B J, et al. Photoinduced toxicity of three polycyclic aromatic hydrocarbons (fluoranthene, pyrene, and naphthalene) to the duckweed *Lemna gibba* L. G-3[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1994, 28(2):160-171.
- [5] Ren L, Zeiler L F, Dixon D G. Photoinduced effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on Brassica napus (Canola) during germination and early seedling development[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1996, 33:73-80.
- [6] Maliszewska K B, Smrecza K B. Ecotoxicological activity of soils polluted with polycyclic aromatic hydrocarbons PAHs-effect on plants[J]. *Environment Technology*, 2000, 21:1099-1110.
- [7] 刘建武, 林逢凯, 王郁, 等. 多环芳烃(萘)污染对水生植物生理指标的影响[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2002, 28(10):520-524.
LIU Jian-wu, LIN Feng-kai, WANG Yu, et al. Effects of PAHs (naphthalene) pollution on the physiological index of hydrophyte[J]. *Journal of East China University of Science and Technology*, 2002, 28(10):520-524.
- [8] 陆志强, 郑文教, 马丽, 等. 不同浓度萘和砒处理对红树植物秋茄胚轴萌发和幼苗生长的影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2005, 44(4):580-583.
LU Zhi-qiang, ZHENG Wen-jiao, MA Li, et al. Effect of naphthalene and pyrene on hypocotyl germination and growth of mangrove plant *Kandelia candel* (L.) druce[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2005, 44(4):520-524.
- [9] 刘宛, 李培军, 周启星, 等. 短期菲胁迫对大豆幼苗超氧化物歧化酶活性及丙二醛含量的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4):581-584.
LIU Wan, LI Pei-jun, ZHOU Qi-xing, et al. Effect of short-term phenanthrene stress on SOD activities and MDA contents in soybean (*Glycine max*) seedlings[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(4):581-584.
- [10] Paskova V, Hilscherova K, Feldmannova M, et al. Toxic effects and oxidative stress in higher plants exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons and their N-heterocyclic derivatives[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2006, 25(12):3238-3245.
- [11] 蔡顺香, 何盈, 王煌平, 等. 砒对小白菜幼苗生长和一些生理生化指标的影响[J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(4):643-646.
CAI Shun-xiang, HE Ying, WANG Huang-ping, et al. Effects of pyrene on growth and several physiological and biochemical indexes of Chinese Cabbage seedlings[J]. *Plant Physiology Communications*, 2008, 44(4):643-646.
- [12] 蔡顺香, 何盈, 兰忠明, 等. 小白菜叶内叶绿素和抗氧化系统对砒胁迫的动态响应[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3):460-465.
CAI Shun-xiang, HE Ying, LAN Zhong-ming, et al. Dynamics response of pyrene stress on chlorophyll and antioxidative system in leaves of Chinese cabbage[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3):460-465.
- [13] 尹颖, 孙媛媛, 郭红岩, 等. 砒对苦草的生物毒性效应[J]. 应用生态学报, 2007, 18(7):1528-1533.
YIN Ying, SUN Yuan-yuan, GUO Hong-yan, et al. Bio-toxic effects of pyrene on *Vallisneria spiralis* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(7):1528-1533.
- [14] 孙成芬, 马丽, 盛连喜, 等. 土壤萘污染对玉米苗期生长和生理的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3):443-448.
SUN Cheng-fen, MA Li, SHENG Lian-xi, et al. Soil Naphthalene pollution stress on corn (*Zea Mays* L.) seedlings physiological effect[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3):443-448.
- [15] 孙景宽, 张文辉, 张洁明, 等. 种子萌发期4种植物对干旱胁迫的响应及其抗旱性评价研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(9):1811-1818.
SUN Jing-kuan, ZHANG Wen-hui, ZHANG Jie-ming, et al. Response to drought stresses and drought-resistances evolution of four species during seed germination[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(9):1811-1818.
- [16] 张国良, 陈文军, 戴其根, 等. 小麦耐1, 2, 4-三氯苯胁迫基因型的苗期筛选[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1):30-34.
ZHANG Guo-liang, CHEN Wen-jun, DAI Qi-gen, et al. Screening of tolerant wheat genotypes to 1, 2, 4-trichlorobenzene stress at seedling stage[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(1):30-34.
- [17] 陈文军, 张国良, 孙国荣, 等. 水稻耐1, 2, 4-三氯苯胁迫基因型的苗期筛选[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(3):1003-1008.
CHEN Wen-jun, ZHANG Guo-liang, SUN Guo-rong, et al. Screening of tolerant rice genotypes to 1, 2, 4-trichlorobenzene stress at seedling stage[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(3):1003-1008.
- [18] 卢晓丹, 高彦征, 凌婉婷, 等. 多环芳烃对黑麦草体内过氧化物酶和多酚氧化酶的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(5):1969-1973.
LU Xiao-dan, GAO Yan-zheng, LING Wan-ting, et al. Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on POD and PPO in *Lolium multiflorum* Lam. [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(5):1969-1973.
- [19] McCann J H, Greenberg B M, Solomon K R. The effect of creosote on the growth of an axenic culture of *Myriophyllum spicatum* L. [J]. *Aquatic Toxicology*, 2000, 50:267-276.