

镉胁迫对不同基因型小白菜种子萌发的影响

陆开形, 汤飞峰, 丁沃娜

(宁波大学 植物分子生物学实验室, 浙江 宁波 315211)

摘要: 采用室内生物测定方法, 选用预实验筛选所得的 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的镉胁迫对宁波市常见的 12 个小白菜品种进行萌发实验, 通过测定发芽率、发芽指数、活力指数、胚芽长、胚根长、鲜重和干重等指标, 同时结合模糊数学隶属函数法对小白菜的耐镉性进行了综合评价。结果表明: 不同小白菜品种间种子萌发受镉胁迫的抑制程度存在明显差异, 在供试的 12 个品种中, 青种黄芽菜的耐镉性较强, 而菊锦、耐热小将等耐镉性较差。

关键词: 小白菜; 镉胁迫; 发芽特性

中图分类号: X173; P595

文献标识码: A

文章编号: 1001-5132 (2012) 02-0001-06

近年来由于受自然因素和人类活动的影响, 如工业“三废”、农业污水灌溉、农药化肥的使用等等, 使得我国农田土壤环境的重金属污染情况日趋恶化。其中镉(Cd)是环境中最具危害性的重金属元素之一。Cd 不是植物生长必需的微量元素, 相反植物体内过量 Cd 的积累会对植物产生严重毒害^[1], Cd 污染已成为威胁土壤安全和制约农业可持续发展的重要因素之一。

种子萌发是植物生命开始的重要事件, 也是植物最早接受环境胁迫的阶段^[2]。种子萌发时期的生长状况直接影响植物的生长和生物产量, 种子萌发和苗期生长状况还是用于评价植物重金属耐性的重要指标^[3]。已有研究发现重金属 Cd 胁迫会影响种子的萌发: 如张义贤等^[4]发现油菜受镉污染后, 种子萌发率和根生长速率下降, 其毒害效应和处理的浓度及时间成正比; 郑世英等^[5]发现当镉质量浓度高于 $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 显著抑制绿豆种子的发芽率; 程旺大等^[6]发现水稻对 Cd 的敏感性在不同生育时期具有一致性。虽然种子萌发阶段对外界环境反应敏感, 但是不同物种之间的种子对环境的适应能力和适应机制存在明显差异, 植物种间甚至品种之间也存在很大差异^[7]。

蔬菜是人们的必食品, 目前有关 Cd 胁迫对小白菜种子影响的相关研究还较少, 鉴于小白菜品

种 Cd 耐性评价是其 Cd 耐性品种选育的基础, 通过收集宁波市常见的 12 个小白菜品种, 研究镉胁迫对小白菜种子萌发的影响, 旨在对不同 Cd 耐性小白菜品种进行早期鉴定以便为筛选具有较高耐 Cd 性的品种提供科学依据, 也为预防小白菜减产和 Cd 中毒, 提高污染土壤上植物生长的安全性提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验共收集到 12 个小白菜品种, 分别是菊锦、腊苔菜、早白菜苔、耐热小将、京冠一号、四月慢、早熟长江 5 号、矮脚大头清江白、绍兴矮黄头、上海矮抗清、厚种黑大头、青种黄芽菜。种子均由宁波市农科院种子推广站提供。

1.2 试验设计与处理

在预实验的基础上, 选用 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 Cd (以 CdCl_2 的形式供给)溶液对 12 个小白菜种子进行处理。选取健康饱满的小白菜种子用 75%酒精消毒 5 min, 自来水冲洗干净, 并用蒸馏水冲洗 3 次以上, 最后用滤纸吸干水分备用。取大小约 $11 \text{ cm}\times 7 \text{ cm}$ 的盒子, 内铺 2 层滤纸, 每盒加 Cd 溶液 7 mL, 对照组加等量蒸馏水, 以滤纸饱和为基准, 上各铺种子 50 粒, 用保鲜膜封口, 每个处理重复 3 次, 每 24 h 用称重法补充蒸发的水分。先于人工气候箱内

黑暗培养 3 d, 温度为 25 ℃, 第 4 天后开始每天 12 h 光照, 培养温度为 25 ℃/22 ℃ (白天/黑夜), 共培养 7 d.

1.3 测定指标与方法

发芽期间, 每天观察种子的发芽情况, 以胚根长 0.2 cm 作为萌芽标志, 每天定时统计种子发芽数. 并在培养 7 d 后测定幼苗的根长(cm)、芽长(cm)、苗鲜重和干重(g) (经 80 ℃ 烘箱中烘 72 h 达到恒重后称干量). 最后根据以上数据统计下列指标^[8]:

发芽势(Germination energy, Ge)= $n_1/N \times 100\%$,

发芽率(Germination rate, Gr)= $n/N \times 100\%$,

发芽指数(Germination index, Gi)= (G_t/D_t) ,

活力指数(Vigor index, Vi)= $S \times$ 发芽指数,

其中: n_1 为第 4 天累积发芽种子数, N 为供试种子总数, n 为第 7 天累积发芽种子数, G_t 为时间 t 的发芽数, D_t 为相应的发芽天数, S 为幼苗根长.

每个重复中选 10 株测定胚芽长、胚根长、鲜重和干重.

耐镉性评价应用模糊数学中的隶属函数值方法计算, 以种子的发芽率、发芽势、胚芽长、胚根长等指标进行综合评价.

镉害系数(I)=(对照值 - 处理值)/对照值 $\times 100$.

隶属函数值 $X_{(ij)}$: 用模糊数学隶属函数值的方法计算, 其公式为:

$$X_{(ij)}=(X_{ij} - X_{j\min})/(X_{j\max} - X_{j\min}),$$

式中, $X_{(ij)}$ 表示 i 种类 j 指标的隶属值; X_{ij} 表示 i 种类 j 指标的测定值; $X_{j\max}$ 、 $X_{j\min}$ 分别为指标的最大值和最小值. 再把每一指标在不同 Cd 浓度下的隶属值累加求平均值, 最后再将每一品种各个指标的隶属值累加求其平均值, 平均值越大则耐 Cd 性越强. 通过比较 12 种小白菜的耐 Cd 隶属值总平均值大小, 最终确定其耐 Cd 性的强弱.

1.4 数据分析

所有数据采用 SPSS 17.0 软件进行分析, 结果用 $\bar{x} \pm SD$ 表示.

2 结果与分析

2.1 镉胁迫对不同小白菜种子萌发的影响

图 1 记录了 Cd 胁迫 7 d 后不同小白菜种子萌发的结果. 显然不同小白菜品种对 Cd 胁迫的敏感性不同, 即不同品种的发芽情况受 Cd 抑制的程度不同. 进一步分析发芽率和发芽势发现(表 1): 与对照组相比, Cd 胁迫对不同小白菜种子的发芽率均有影响, 具体表现在胁迫后受试品种的平均相对发芽率仅为 58.65%, 说明该 Cd 浓度对小白菜种子的萌发具有较明显的影响. 其中耐热小将和菊锦的耐镉性较差, 其相对发芽率仅为 4.92%和 10.37%, 相应地其镉害系数则高达 90%; 相比, 青种黄芽菜和上海矮抗清的耐镉性较好, 其相对发



1~12 图块标号分别为菊锦、腊苔菜、早白菜苔、耐热小将、京冠一号、四月慢、早熟长江 5 号、矮脚大头清江白、绍兴矮黄头、上海矮抗清、厚种黑大头、青种黄芽菜的萌发情况

图 1 Cd 胁迫对不同小白菜种子萌发的影响(第 7 天的发芽图)

表 1 镉胁迫对不同小白菜品种发芽率和发芽势的影响

品种	发芽率				4 d 发芽势			
	对照组/%	处理组/%	相对发芽率/%	<i>I</i>	对照组/%	处理组/%	相对发芽势/%	<i>I</i>
菊锦	74.38±3	7.71±1	10.37	90	69.17±21	4.50±4	6.51	93
腊苔菜	91.71±3	76.95±8	83.91	16	91.00±5	71.17±19	78.21	22
早白菜苔	86.48±5	57.62±5	66.63	33	84.83±9	49.17±26	57.96	42
耐热小将	73.62±4	3.62±2	4.92	95	70.83±15	2.33±3	3.29	97
京冠一号	84.76±4	13.81±2	16.29	84	82.83±12	12.50±3	15.09	85
四月慢	88.95±3	63.33±12	71.20	29	87.67±7	57.17±19	65.21	35
早熟长江 5 号	97.71±2	79.52±3	81.38	19	97.00±3	76.67±13	79.04	21
矮脚大头清江白	85.33±4	24.48±4	28.69	71	83.33±8	19.00±18	22.80	77
绍兴矮黄头	95.24±4	44.95±1	47.20	53	94.67±4	36.17±26	38.21	62
上海矮抗清	98.29±2	87.52±5	89.04	11	97.50±3	84.67±13	86.84	13
厚种黑大头	95.14±3	52.10±7	54.76	45	94.00±5	45.83±27	48.76	51
青种黄芽菜	99.33±0	98.19±2	98.85	1	98.83±2	97.33±6	98.48	2
平均	89.05±1.4	52.23±1.2	58.65	41	87.50±7.8	47.86±15	54.70	45

注: *I* 为镉害系数, 以下同。

表 2 镉胁迫对不同小白菜品种发芽指数和活力指数的影响

品种	发芽指数				活力指数		
	对照组	处理组	相对发芽指数	<i>I</i>	对照组	处理组	相对活力指数
菊锦	41.83±2.47	1.50±0.2	3.59	96	318.70±18.86	0.76±0.17	0.24
腊苔菜	66.17±3.18	44.50±7.8	67.25	33	621.04±29.90	36.00±8.50	5.80
早白菜苔	59.33±0.71	25.33±2.5	42.69	57	454.97±5.42	15.71±0.43	3.45
耐热小将	46.50±5.30	0.50±0.7	1.08	99	335.45±19.00	0.12±0.05	0.04
京冠一号	56.67±2.12	8.17±2.5	14.42	86	527.57±19.70	2.90±0.08	0.55
四月慢	62.50±3.54	34.17±8.5	54.67	45	529.79±19.70	9.46±1.16	1.79
早熟长江 5 号	71.33±1.77	51.50±0.0	72.20	28	653.08±29.00	31.48±4.21	4.82
矮脚大头清江白	58.83±0.71	6.67±2.0	11.34	89	414.93±4.98	1.42±0.06	0.34
绍兴矮黄头	68.33±4.95	17.33±5.3	25.00	75	480.02±5.00	7.28±1.84	1.52
上海矮抗清	71.67±2.83	57.83±1.4	80.69	19	552.55±21.80	22.91±5.93	4.15
厚种黑大头	68.33±4.95	22.17±0.4	32.45	68	522.84±37.00	13.76±3.89	2.63
青种黄芽菜	73.17±0.00	70.50±0.7	96.35	4	558.41±0.00	42.68±6.73	7.64
平均	62.10±1.24	29.32±0.53	47.21	56	498.14±17.53	17.34±2.75	3.48

芽率分别高达 98.85% 和 89.04%, 而镉害系数则为 1% 和 11%; 其他品种则处于中间水平. 各种子的发芽势水平也表现出和发芽率相同的变化趋势: Cd 胁迫导致 12 个小白菜品种的平均相对发芽势降至 54.70%, 其中耐热小将和菊锦的相对发芽势仅为 3.29% 和 6.51%, 其对应镉害系数则分别为 97% 和 93%; 青种黄芽菜和上海矮抗清的相对发芽势为 98.48% 和 86.84%, 其镉害系数则仅为 2% 和 3%.

发芽指数是发芽率和发芽势的综合, 既可反

映发芽率的高低, 又可反映发芽速度. Cd 胁迫对小白菜发芽指数的影响趋势同前 2 个指标(表 2). 胁迫导致受试种子的平均相对发芽指数降至 47.21%, 其中, 青种黄芽菜的相对发芽指数较高, 为 96.35%, 而镉害系数则仅为 4%; 相比, 耐热小将和菊锦的相对发芽指数则仅为 1.08% 和 3.59%, 镉害系数则高达 99% 和 96%. 小白菜活力指数受 Cd 胁迫的影响也较大, 但不同品种间的变化趋势同前, 青种黄芽菜表现出相对较高的相对活力指数(7.64%), 而

耐热小将和菊锦的相对活力指数则降至最低, 分别为 0.04% 和 0.24%。

2.2 镉胁迫对小白菜幼苗根长和芽长的影响

Cd 胁迫对受试幼苗的根长和芽长均有不同程度的抑制作用(表 3)。相比, 根长受抑制程度(相对根长仅为 6.38%)较芽长(相对芽长为 56.10%)严重, 12 个受试品种根长镉害系数均高达 90% 以上, 说明实验所用的 Cd 胁迫浓度对小白菜根有较强的损伤作用。相比根长, 芽长的毒害作用相对较低, 且抗性较强的品种(如青种黄芽菜和厚种黑大头)有相对较高的相对芽长(分别为 86.80% 和 84.05%), 相应的镉害系数也最小, 分别为 13% 和 16%; 而抗性较差的耐热小将的相对芽长最低, 为 23.55%, 其镉害系数则高达 76%。

2.3 镉胁迫对部分小白菜鲜重和干重的影响

因镉胁迫导致部分小白菜种子萌发率较低,

苗不足以用来称取对应的干重, 所以, 仅选取萌发相对较好的 5 个小白菜品种进行鲜重和干重的测定。结果发现(表 4): Cd 胁迫对幼苗的鲜重均有一定的抑制作用(其平均相对鲜重只有 46.22%), 说明 Cd 胁迫对小白菜早期生长具有抑制作用, 其中相对抗性较强的青种黄芽菜具有较高的相对鲜重(51.96%)。相比, 干重的变化趋势和前几个指标略有不同, 抗性较强的青种黄芽菜的相对干重则有 48.88%, 远低于早熟长江 5 号的比例(90.05%)。究其原因可能是由于抗性较弱的苗受 Cd 胁迫后本身就具有脱水现象, 因此称得的鲜重已相对较低, 导致相对干重偏高。而抗性较强的苗(如青种黄芽菜)在胁迫时脱水较少, 所以导致其相对干重偏低。这也说明用鲜重来表示幼苗的抗性比干重更为合理。

2.4 不同小白菜种子萌发的耐镉综合性评价

植物的耐性应是多种因素综合作用的结果,

表 3 镉胁迫对不同小白菜幼苗根长和芽长的影响

品种	根长				芽长			
	对照组/cm	处理组/cm	相对根长/%	<i>I</i>	对照组/cm	处理组/cm	相对芽长/%	<i>I</i>
菊锦	7.62±1.59	0.50±0.23	6.56	93	2.66±0.54	1.42±0.44	53.38	47
腊苔菜	9.39±0.97	0.81±0.68	8.63	91	2.32±0.38	1.91±0.59	82.33	18
早白菜苔	7.67±1.24	0.62±0.50	8.08	92	2.70±0.54	1.16±0.49	42.96	57
耐热小将	7.21±1.14	0.24±0.10	3.33	97	2.42±0.47	0.57±0.05	23.55	76
京冠一号	9.31±1.42	0.36±0.15	3.87	96	2.27±0.36	1.30±0.60	57.27	43
四月慢	8.48±1.24	0.28±0.10	3.30	97	2.47±0.58	0.88±0.34	35.63	65
早熟长江 5 号	9.16±1.51	0.61±0.42	6.66	93	2.64±0.55	1.37±0.70	51.89	48
矮脚大头清江白	7.05±1.55	0.21±0.08	2.98	97	2.49±0.38	0.95±0.30	38.15	62
绍兴矮黄头	6.92±1.52	0.42±0.18	6.07	94	2.36±0.47	0.80±0.20	33.90	66
上海矮抗清	7.71±1.37	0.39±0.16	5.06	95	2.50±0.45	1.71±0.48	68.40	32
厚种黑大头	7.65±1.41	0.62±0.43	8.10	92	2.32±0.37	1.95±0.22	84.05	16
青种黄芽菜	7.63±1.76	0.61±0.32	7.99	92	2.50±0.39	2.17±0.55	86.80	13
平均	8.00	0.51	6.38	94	2.46	1.38	56.10	44

表 4 镉胁迫对小白菜鲜重和干重的影响

品种	鲜重				干重			
	对照组/mg	处理组/mg	相对鲜重/%	<i>I</i>	对照组/mg	处理组/mg	相对干重/%	<i>I</i>
四月慢	4.72	2.26	47.88	52	1.97	1.66	84.26	16
早白菜苔	3.28	1.33	40.55	60	1.67	0.84	50.30	50
早熟长江 5 号	4.24	2.06	48.58	51	1.91	1.72	90.05	10
厚种黑大头	9.30	4.12	44.30	56	3.82	1.58	41.36	59
青种黄芽菜	3.58	1.86	51.96	48	3.13	1.53	48.88	51
平均	5.02	2.32	46.22	53	2.50	1.47	58.80	37

表 5 镉胁迫对不同小白菜种子发芽影响的综合评价

品种	发芽率	发芽势	胚芽长	胚根长	平均	平均排名
菊锦	0.52±0.04	0.75±0.16	0.46±0.11	0.47±0.08	0.53±0.08	10
腊苔菜	0.74±0.05	0.59±0.13	0.59±0.08	0.22±0.17	0.49±0.07	11
早白菜苔	0.73±0.03	0.65±0.02	0.41±0.02	0.31±0.08	0.58±0.03	4
耐热小将	0.68±0.04	0.50±0.10	0.18±0.29	0.24±0.00	0.33±0.10	12
京冠一号	0.63±0.05	0.54±0.25	0.40±0.12	0.63±0.33	0.50±0.15	9
四月慢	0.73±0.04	0.67±0.05	0.49±0.17	0.33±0.07	0.63±0.06	2
早熟长江 5 号	0.80±0.03	0.68±0.06	0.44±0.09	0.31±0.01	0.58±0.10	4
矮脚大头清江白	0.74±0.03	0.62±0.04	0.49±0.04	0.40±0.28	0.55±0.07	7
绍兴矮黄头	0.72±0.13	0.56±0.22	0.44±0.33	0.62±0.03	0.55±0.08	7
上海矮抗清	0.81±0.04	0.74±0.01	0.49±0.02	0.28±0.14	0.61±0.03	3
厚种黑大头	0.78±0.04	0.68±0.02	0.47±0.09	0.25±0.04	0.58±0.01	4
青种黄芽菜	0.86±0.00	0.75±0.00	0.42±0.04	0.39±0.04	0.64±0.03	1

如仅从某项指标来评价品种的耐性强弱, 准确性较差, 有时会与整体水平的抗逆性出入较大, 所以有必要采用模糊数学法利用多项指标对品种的耐性进行综合评价。选取实验中的 4 个指标: 发芽率、发芽势、胚根长和胚芽长进行综合分析, 结果发现(表 5): 12 个小白菜品种间隶属函数总平均值存在一定的差异, 最大的为抗性较强的青种黄芽菜(0.64), 其次为四月慢>上海矮抗清>厚种黑大头=早熟长江 5 号=早白菜苔>绍兴矮黄头=矮脚大头清江白>京冠一号>菊锦>腊苔菜, 最小的则为抗性较弱的耐热小将(0.33)。

3 讨论

植物耐镉性的大小由植物的遗传特性决定, 其中植物发育阶段、植物种类及品种与耐性密切相关^[9]。种子萌发是小白菜生命周期的起点, 它关系到幼苗的生长和发育。而种子萌发的好坏与种子所处的环境关系密切。Cd 是植物非必需元素, 植物体内 Cd 积累到一定程度, 会对植物的生长发育产生毒害^[10]。本实验结果表明, Cd 胁迫对受试种子的萌发存在一定的抑制作用, 具体反映在发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数的下降, 而这些指标能够从不同的角度反映小白菜苗期耐镉性的强弱, 其中发芽势反映了种子发芽的快慢和整齐度, 发芽率反映了种子发芽的多少, 种子发芽速度、发芽整齐度和幼苗健壮的潜势^[11]。综合实验结果发现: 受试品种中, 青种黄芽菜表现出相对较强的抗性,

而耐热小将和菊锦则相对较弱。镉害系数的大小表示该品种受到镉胁迫而产生的耐镉性的大小, 二者间存负相关性^[12]。因此, 进一步用镉害系数表示不同小白菜品种的耐镉性发现: 抗性较强的青种黄芽菜种子的发芽率、发芽势和发芽指数等指标的镉害系数均较小(<5%), 而抗性较弱的耐热小将的镉害系数最大(均在 95%以上), 这进一步验证了前面的结果。

已有研究表明, 重金属对植物的伤害首先表现在幼苗的根部, 尤其是根毛区最为明显^[13]。本实验结果发现, 经 Cd 胁迫后, 幼苗的根长远较芽长受损严重, 受试小白菜根长的镉害系数均在 90%以上, 而芽长的平均镉害系数只有 44%。分析根受损严重的原因可归因于种子萌发时胚根快速吸水伸长并最先突破种皮, 使胚根在 Cd 的积累量上, 在受 Cd 胁迫的时间进程上均大于胚芽, 从而表现为胚根对重金属污染的反应更直接、敏感^[12]。Cd 进入植物体后, 主要积累在胚根的生长部位, 通过其细胞壁中的交换位点, 进入细胞进而破坏细胞内染色体和核仁^[14]。这可能是抑制胚芽、胚根生长的原因。由于植物根是吸收的主要器官, 所以一旦根的生长受到影响, 势必会威胁到植株的生长, 严重的还会最终导致死亡^[13], 这也是本实验中最后只余 5 个品种足以用来测量幼苗鲜重及干重的原因。

实验所测定的几个指标都在一定程度上反映了受试品种耐镉性能的差异, 但考虑到植物耐 Cd 性状受到多方面的控制^[15], 使用单一指标来评价

种子的耐 Cd 盐性具有片面性,不能真实客观地反映植物的真实耐 Cd 性.因此宜对指标进行综合评价.通过用模糊数学函数隶属法对发芽率、发芽势、胚芽长及胚根长 4 个指标的综合分析发现,12 个小白菜品种间种子萌发的耐镉性存在较大差异.其中,青种黄芽菜种子萌发和幼苗生长状况受 Cd 胁迫时镉害系数最低,表现出较强的 Cd 耐受力,相比,耐热小将的镉害系数最高,因此其耐 Cd 力也最弱.有关受试 12 个小白菜品种耐镉性差异的具体生理机制还需进一步研究.

参考文献:

- [1] Das P, Samantaray S, Rout G R. Studies on cadmium toxicity in plants: A review[J]. Environ Pollution, 1998, 98:29-36.
- [2] 薛延丰,李慧明,易能,等.微囊藻毒素(MC-RR)对白三叶种子萌发及幼苗生理生化特性影响[J].草业学报,2009,18(6):180-185.
- [3] Abedin M J, Megara A A. Relative toxicity of arsenate and arsenite on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L)[J]. Plant and Soil, 2002, 243:57-66.
- [4] 张义贤,李晓科.镉、铅及其复合污染对大麦幼苗部分生理指标的影响[J].植物研究,2008,28(1):43-46.
- [5] 郑世英,王丽燕,商学芳,等.Cd 胁迫对玉米抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响[J].江苏农业科学,2007(1):36-38.
- [6] 程旺大,姚海根,张国平,等.镉胁迫对水稻生长和营养代谢的影响[J].中国农业科学,2005,38(3):528-537.
- [7] Liu W T, Zhou Q X, Zhang Y L, et al. Variations in cadmium accumulation among Chinese cabbage cultivars and screening for Cd-safe cultivars[J]. J Hazard Mate, 2010, 173:737-743.
- [8] 胡生荣,高永,武飞,等.盐胁迫对两种无芒雀麦种子萌发的影响[J].植物生态学报,2007,31(3):513-520.
- [9] 张春荣,李红,夏立江,等.镉、锌对紫花苜蓿种子萌发及幼苗的影响[J].华北农学报,2005,20(1):96-99.
- [10] 居萍,刘玉华.不同处理对 4 种草坪种子发芽的影响[J].江苏林业科技,2004,31(4):29-31.
- [11] 何俊瑜,任艳芳,朱诚,等.镉胁迫对不同水稻品种种子萌发、幼苗生长和淀粉酶活性的影响[J].中国水稻科学,2008,22(4):399-404.
- [12] 张杏辉,曹铭寻. Hg、Pb 对小白菜种子萌发的影响研究[J].广西园艺,2004,15(4):2-3.
- [13] 杨居荣,贺建群,张国祥,等.作物对 Cd 毒害的耐性机理探讨[J].应用生态学报,1995,6(1):46-49.
- [14] Aanrei A B, Vera I S, Viktor E T, et al. Genetic variability in tolerance to cadmium and accumulation of heavy metals in pea (*Pisum sativum* L.)[J]. Euphytica, 2003, 131:25-35.
- [15] Peralta J R, Gardea-Torresdey J L, Tiemann K J, et al. Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in alfalfa (*Medicago sativa* L.)[J]. B Environ Contam Tox, 2001, 66:727-734.

Effects of Cadmium Stress on Seed Germination of Cabbage with Different Genotypes

LU Kai-xing, TANG Fei-feng, DING Wo-na

(Laboratory of Plant Molecular Biology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Using the techniques of laboratory bioassay, $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Cd solution is used to stress the cabbage seeds of 12 kinds mainly cultivated in Ningbo city. By measuring the following parameters: germination rate, germination index, vigor index, root and shoot height, fresh and dry weight, the cadmium-resistant ability of cabbage is assessed using membership function. The results show that there are significant differences in seed germination among different cabbage cultivars. Among all tested 12 cultivars, the Qingzhonghuangyacai has the strongest resistance to Cd, while the Jujing and Nairexiaojiang are found weak in this respect.

Key words: cabbage; cadmium stress; germination characteristics

(责任编辑 史小丽)