

# 不同品种小麦种子萌发对镉胁迫的耐性响应

曹 丹,白耀博,强承魁,凤舞剑,胡长效

(徐州生物工程职业技术学院/徐州市现代农业生物技术重点实验室,江苏 徐州 221006)

**摘要:**为了筛选出适合徐州地区的 Cd 耐性小麦品种,通过室内培养法对徐州市主栽的 14 种小麦种子在 40 mg·L<sup>-1</sup>(Cd)胁迫下小麦发芽势、发芽率、胚根长、胚芽长、胚根鲜重及胚芽鲜重等生理指标的分析,探讨不同小麦品种萌发期对镉胁迫的耐性机制。结果表明:不同品种小麦对 Cd 胁迫的耐性不同,总体小麦发芽势的影响大于发芽率,小麦胚根长度对镉的耐性最弱。聚类分析可将 14 个小麦品种划分为镉胁迫抑制型(百农 AK58 和新麦 208)、中间型(迁麦 1 号、新麦 288、豫农 35 及金禾 9123)和耐受型(徐麦 30、徐麦 33、保麦 5 号、保麦 2 号、烟农 19、百农 207、淮麦 20 和淮麦 35)。

**关键词:**镉胁迫;小麦品种;耐性;响应

**中图分类号:**S512.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2017)07-0008-04 **DOI:**10.11942/j.issn1002-2767.2017.07.0008

镉(Cd)是众所周知的重金属“五毒”元素之一,因其分解周期长、移动性大、毒性高、难降解等特点而备受关注,生产活动中容易被作物吸收富集,不仅严重影响作物的产量和品质,而且可以通过食物链在人体的积累危害人体健康<sup>[1]</sup>。据不完全统计,我国受到镉污染的农田面积达 2.8×10<sup>5</sup> hm<sup>2</sup>,严重危害着农业生态环境和人类的健康<sup>[2]</sup>。

目前,Cd 在植物体内迁移途径、分布规律、毒害机理等方面研究较多<sup>[3-4]</sup>。而小麦是徐州市第二大农作物,已有研究表明,徐州市北郊农业区 Cd 的检出率达 63.6%,超标率均为 9.11%<sup>[5]</sup>,邳州市新河镇小麦籽实中 Cd 含量分别超过了食品安全国家标准限量值的 1.2 倍<sup>[6]</sup>,而不同小麦品种的 Cd 胁迫耐性评价是小麦 Cd 耐性品种选育的基础。鉴于此,本研究在前期小麦对不同浓度镉胁迫的响应、小麦对重金属富集的品种间差异及潜在健康风险评价的基础上,以徐州地区主推的 14 种小麦品种为供试材料,系统研究不同小麦品种种子萌发对镉胁迫的耐性响应,以期筛选出适合徐州地区的 Cd 耐性小麦品种,为农业生产提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试小麦品种为徐州市 14 个主栽品种:徐麦 30、徐麦 33、保麦 2 号、保麦 5 号、烟农 19、金禾 9123、百农 AK58、百农 207、迁麦 1 号、新麦 208、新麦 288、淮麦 20、淮麦 35 和豫农 35。

# Genetic Diversity Analysis of 23 *Japonica* Broomcorn Millet Cultivated Varieties

YAN Feng,JIANG Yuan-qi,WANG Cheng,ZENG Ling-ling,LU Huan,DONG Yang,ZHAO Lei  
(Qiqihar Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences,Qiqihar, Heilongjiang 161006)

**Abstract:** In order to screen out the good germplasm resources, the genetic diversity of 7 agronomic traits in 23 *japonica* broomcorn millet varieties were studied. The results showed that the genetic diversity of the 23 millet varieties was abundant. The diversity index of grain weight per spike was the highest with the number of 2.38, while that the number of node was the lowest, with the number of 1.34. Based on the agronomic data, 23 broomcorn millet accessions were clustered into 4 groups. The character of Neimi 1 in second group were early-maturing, large spike and dwarf. Neimi 1 should be used as focus accession in crossbreeding of broomcorn millet.

**Keywords:** *japonica* broomcorn millet; agronomic traits; genetic diversity

(该文作者还有武琳琳,单位同第一作者)

**收稿日期:**2017-05-02  
**基金项目:**徐州市推动科技创新专项资金资助项目[KC14SM101];徐州生物工程职业技术学院科研课题资助项目[2015KY04]  
**第一作者简介:**曹丹(1985-),女,江苏省徐州市人,硕士,讲师,从事环境质量与农产品质量安全研究。E-mail: caodan\_168@126.com.

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2017 年 5 月 20 日在徐州生物工程职业技术学院现代农业生物技术重点实验室进行。选取健康饱满、大小一致的不同品种小麦种子,清洗干净,用 0.5%NaClO 消毒灭菌 10 min,然后用去离子水反复冲洗,蒸馏水浸种催芽 24 h 后,均匀播于铺有 2 层 9 mL 滤纸的培养皿中,每皿 50 粒种子。分别用 40 mg·L<sup>-1</sup> CdCl<sub>2</sub>(以 Cd<sup>2+</sup> 浓度计)溶液浸润种子,每个品种小麦分别用去离子水处理作为对照,每个处理重复 3 次。于 25 ℃培养箱中培养,每天观察,隔 1 d 滴加 Cd 溶液、对照加去离子水,保持滤纸湿润,并且记录每天的发芽数,培养 7 d 后测定生长指标。

1.2.2 测定指标与方法 在种子生长期间,每天观察种子的萌发数,从第 3 天开始统计发芽势,培养 7 d 后,测定不同小麦胚根长、胚芽长、胚芽鲜质量和胚根鲜质量等指标,最后统计出发芽势、发芽率和胁迫指数。

发芽率(Gr) =  $\Sigma(\text{Gt} / \text{T}) \times 100\%$

发芽势(Gp) =  $\text{Gt} / \text{T} \times 100\%$

胁迫指数(I) = 1 - 处理值 / 对照值

Gt 为 t 天的发芽数(发芽率为 7 d,发芽势为 3 d);T 为种子总数。

胚根、胚芽鲜重的测定:生长第 7 天,将小麦种子胚根、胚芽全部分离,取出不同处理后的所有胚根、胚芽用蒸馏水洗净、滤纸吸干水分,分别称其鲜重。

胚芽、胚根长度的测定:萌发第 7 天,每个培养皿随机取 15 粒小麦种子,分离其胚根、胚芽,测出它们的胚芽长度和胚根长度,计算平均值。

1.2.3 数据分析 数据采用 Microsoft Excel 2016 处理和 SPSS13.0 统计分析软件进行数据分析和差异性检验。

2 结果与分析

2.1 镉胁迫对不同品种小麦萌发率的影响

不同品种小麦的发芽势反映种子的活力高低。一般情况下,发芽势高的小麦种子的活力高、出苗齐且壮。而发芽率则反映出苗率,一般发芽率高的种子出苗率就高。由表 1 可以看出,不同品种小麦之间的胁迫程度差异比较大,在 40 mg·L<sup>-1</sup> Cd 胁迫下,14 个小麦品种的平均发芽势为 72.5%、平均发芽率为 81.3%,与对照相比分别减少 24.9 和 16.9 百分点,种子发芽势的胁迫指

数为 0.30、发芽率的胁迫指数为 0.20。Cd 胁迫对保麦 2 号、淮麦 20 的发芽势和发芽率无影响,与 CK 一致,发芽势和发芽率都为 100%,而对百农 AK58 和新麦 208 发芽势和发芽率的抑制作用最明显,胁迫指数均大于 0.4,徐麦 30 和徐麦 33 表现出发芽势的胁迫指数分别为 0.36 和 0.44,但是对发芽率的胁迫指数均小于 0.1。

表 1 镉胁迫对不同小麦品种发芽势和发芽率的影响

Table 1 Effects of cadmium stress on germination potential and germination rate of different wheat varieties

| 小麦品种<br>Wheat<br>varieties | 发芽势/%<br>Germination potential |       |      | 发芽率/%<br>Germination rate |       |      |
|----------------------------|--------------------------------|-------|------|---------------------------|-------|------|
|                            | CK                             | Cd    | I    | CK                        | Cd    | I    |
| 徐麦 30                      | 96.3                           | 62.0  | 0.36 | 98.7                      | 90.3  | 0.09 |
| 徐麦 33                      | 99.3                           | 56.0  | 0.44 | 100.0                     | 92.0  | 0.08 |
| 保麦 2 号                     | 100.0                          | 100.0 | 0    | 100.0                     | 100.0 | 0    |
| 保麦 5 号                     | 99.0                           | 92.0  | 0.07 | 100.0                     | 92.0  | 0.08 |
| 烟农 19                      | 96.0                           | 91.0  | 0.05 | 98.3                      | 92.0  | 0.06 |
| 金禾 9123                    | 94.3                           | 76.0  | 0.19 | 96.0                      | 76.0  | 0.21 |
| 迁麦 1 号                     | 98.0                           | 64.3  | 0.34 | 98.0                      | 68.7  | 0.30 |
| 百农 AK58                    | 94.7                           | 46.0  | 0.51 | 96.0                      | 50.3  | 0.48 |
| 百农 207                     | 100.0                          | 90.0  | 0.10 | 100.0                     | 100.0 | 0.00 |
| 新麦 208                     | 98.0                           | 50.3  | 0.49 | 98.0                      | 54.7  | 0.44 |
| 新麦 288                     | 95.7                           | 54.7  | 0.43 | 97.7                      | 84.0  | 0.14 |
| 淮麦 20                      | 100.0                          | 100.0 | 0    | 100.0                     | 100.0 | 0    |
| 淮麦 35                      | 96.0                           | 70.0  | 0.27 | 96.0                      | 70.0  | 0.27 |
| 豫农 35                      | 95.7                           | 62.3  | 0.35 | 96.7                      | 67.7  | 0.30 |
| 平均 Average                 | 97.4                           | 72.5  | 0.30 | 98.2                      | 81.3  | 0.20 |

2.2 镉胁迫对不同品种小麦胚根和胚芽长度的影响

小麦胚芽、胚根在镉胁迫下的长度变化是鉴定小麦幼苗抗逆性的重要指标,由表 2 可以看出,Cd 对 14 种小麦品种的胚根、胚芽生长均有一定的抑制作用,且 Cd 对不同品种的小麦胚根长度、胚芽长度抑制作用不同。Cd 胁迫下平均胚根长度为 3.67 cm,较 CK 平均胚根长短 5.59 cm,胚根平均胁迫指数为 0.61,其中,除徐麦 30、徐麦 33、保麦 2 号及淮麦 35 外,Cd 对其它 10 个品种的胚根长度胁迫指数均大于 0.5。而 Cd 对胚芽长度的抑制作用较胚根轻,平均胚芽长为 4.43 cm,较 CK 减少 1.90 cm,胁迫指数为 0.29,其中 Cd 胁迫对百农 AK58 胚芽长度的抑制作用

最明显,胁迫指数为 0.55,其次为金禾 9123。

表 2 镉胁迫对不同小麦品种胚根长和  
胚芽长的影响

| Table 2 Effects of cadmium stress on radicle length and plantule length of different wheat varieties |                          |      |      |                           |      |      |
|--|--------------------------|------|------|---------------------------|------|------|
| 小麦品种<br>Wheat<br>varieties   | 胚根长/cm<br>Radicle length |      |      | 胚芽长/cm<br>Plantule length |      |      |
|  | CK                       | Cd   | I    | CK                        | Cd   | I    |
|  |                          |      |      |                           |      |      |
| 徐麦 30  | 9.62                     | 6.33 | 0.34 | 6.30                      | 5.13 | 0.19 |
| 徐麦 33  | 10.96                    | 6.27 | 0.43 | 6.93                      | 5.40 | 0.22 |
| 保麦 2 号   | 9.03                     | 4.63 | 0.49 | 6.87                      | 4.80 | 0.30 |
| 保麦 5 号   | 9.86                     | 4.23 | 0.57 | 5.33                      | 3.60 | 0.32 |
| 烟农 19  | 8.06                     | 3.10 | 0.62 | 6.80                      | 6.47 | 0.05 |
| 金禾 9123  | 9.23                     | 1.37 | 0.85 | 7.20                      | 3.73 | 0.48 |
| 迁麦 1 号   | 8.57                     | 1.33 | 0.84 | 6.20                      | 4.40 | 0.29 |
| 百农 AK58  | 9.88                     | 2.13 | 0.78 | 7.60                      | 3.43 | 0.55 |
| 百农 207   | 10.37                    | 3.67 | 0.65 | 6.20                      | 4.13 | 0.33 |
| 新麦 208   | 8.57                     | 2.53 | 0.70 | 5.40                      | 3.67 | 0.32 |
| 新麦 288   | 9.23                     | 3.40 | 0.63 | 5.30                      | 3.90 | 0.26 |
| 淮麦 20  | 8.29                     | 3.97 | 0.52 | 5.63                      | 5.00 | 0.11 |
| 淮麦 35  | 8.43                     | 5.23 | 0.38 | 6.17                      | 4.20 | 0.32 |
| 豫农 35  | 9.58                     | 3.23 | 0.66 | 6.70                      | 4.20 | 0.37 |
| 平均 Average   | 9.26                     | 3.67 | 0.61 | 6.33                      | 4.43 | 0.29 |

2.3 镉胁迫对不同品种小麦幼苗鲜重的影响

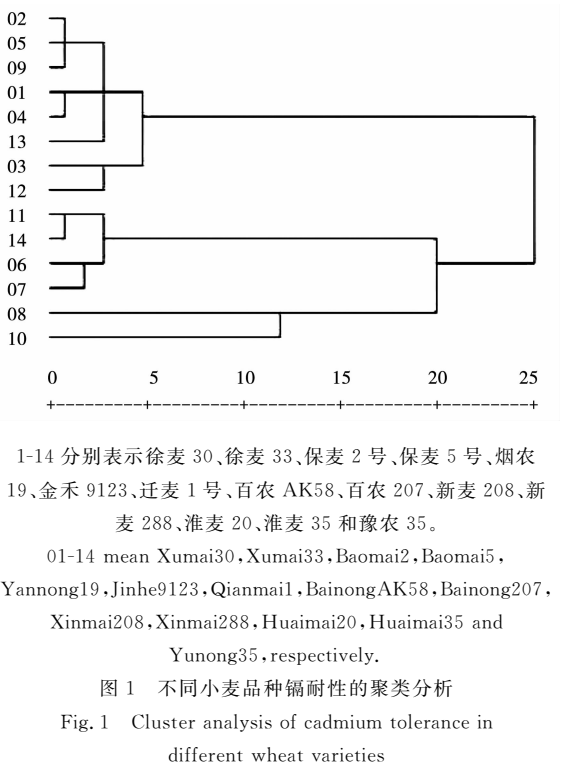
Cd 胁迫影响不同品种小麦的胚根、胚芽长度的同时,也影响到小麦的幼苗鲜重(见表 3)。Cd 胁迫下平均根鲜质量、芽鲜质量明显低于对照,根鲜质量、芽鲜质量的平均胁迫指数分别为 0.24 和 0.31,但不同小麦品种根鲜质量、芽鲜质量的抑制作用强度不同。在徐州市主推的 14 个供试小麦品种中,百农 AK58 的抑制作用最明显,胁迫指数大于 0.5,其次为新麦 288 和新麦 208,分别为 0.49 和 0.48;百农 AK58 及新麦 208 的芽鲜质量抑制作用比较明显,胁迫指数均高于 0.5,其次为迁麦 1 号、金禾 9123,胁迫指数分别为 0.47 和 0.44。相比而言,淮麦 20、保麦 2 号的根鲜质量抑制较低,胁迫指数均小于 0.1。

2.4 镉对不同小麦品种萌发综合抑制效应的聚类分析

不同品种小麦对镉胁迫的耐性响应不同,采用聚类分析法对镉胁迫下不同小麦品种的综合抑制效应进行综合评价(见图 1)。结果显示,14 个小麦品种耐镉性差异可划分为 3 组:第 I 组小麦

表 3 镉胁迫对不同小麦品种根鲜质量和芽鲜  
质量的影响

| Table 3 Effects of cadmium stress on the fresh weight of radicle and plantule of different wheat varieties |                                   |      |      |                                    |      |      |
|--|-----------------------------------|------|------|------------------------------------|------|------|
| 小麦品种<br>Wheat<br>varieties   | 根鲜质量/g<br>Fresh weight of radicle |      |      | 芽鲜质量/g<br>Fresh weight of plantule |      |      |
|  | CK                                | Cd   | I    | CK                                 | Cd   | I    |
|  |                                   |      |      |                                    |      |      |
| 徐麦 30  | 2.32                              | 2.02 | 0.13 | 2.32                               | 1.91 | 0.18 |
| 徐麦 33  | 2.28                              | 2.05 | 0.10 | 2.09                               | 1.66 | 0.21 |
| 保麦 2 号   | 1.92                              | 1.78 | 0.07 | 1.78                               | 1.51 | 0.15 |
| 保麦 5 号   | 2.21                              | 1.90 | 0.14 | 1.98                               | 1.78 | 0.10 |
| 烟农 19  | 2.05                              | 1.43 | 0.30 | 2.02                               | 1.23 | 0.39 |
| 金禾 9123  | 2.22                              | 1.61 | 0.27 | 2.12                               | 1.19 | 0.44 |
| 迁麦 1 号   | 1.98                              | 1.39 | 0.30 | 1.79                               | 0.94 | 0.47 |
| 百农 AK58  | 2.10                              | 1.00 | 0.52 | 1.97                               | 0.82 | 0.58 |
| 百农 207   | 2.38                              | 1.87 | 0.21 | 2.12                               | 1.78 | 0.16 |
| 新麦 208   | 2.00                              | 1.04 | 0.48 | 2.01                               | 0.80 | 0.60 |
| 新麦 288   | 2.12                              | 1.09 | 0.49 | 1.99                               | 1.50 | 0.25 |
| 淮麦 20  | 1.93                              | 1.91 | 0.01 | 1.76                               | 1.41 | 0.20 |
| 淮麦 35  | 1.89                              | 1.68 | 0.11 | 1.88                               | 1.31 | 0.30 |
| 豫农 35  | 2.22                              | 1.63 | 0.27 | 2.01                               | 1.40 | 0.30 |
| 平均 Average   | 2.12                              | 1.60 | 0.24 | 1.99                               | 1.37 | 0.31 |



品种包括百农 AK58、新麦 208,占徐州主推小麦品种的 14.3%,为镉胁迫抑制型品种,综合抑制效应大于 0.5;第Ⅱ组小麦品种包括迁麦 1 号、新麦 288、豫农 35 及金禾 9123,占徐州市主推品种的 28.6%,为中等抑制型小麦品种;第Ⅲ组包括徐麦 30、保麦 2 号等 8 个品种,占徐州市主推品种的 57.1%,受镉的综合抑制作用相对较弱,为耐受型小麦品种。

### 3 结论与讨论

种子萌发是小麦生命周期的起点,也是活动最强烈的特殊时期,发芽质量的好坏将直接关系到小麦的健康生长和农业经济效益,因此 Cd 对种子萌发作用的影响受到许多学者的关注。本文以 14 种不同小麦品种为试验材料,研究表明:不同小麦品种的发芽势、发芽率、胚根、胚芽鲜重及胚根、胚芽长度都受到了不同程度的抑制,其中胚根长度受到的抑制作用最强。已有研究表明,根系是最直接、最严重的受害器官之一,用 Cd 处理水稻、青菜、白菜等种子,可显著抑制根系的伸长生长,且随 Cd 处理浓度的增加影响加剧<sup>[7-9]</sup>。由于种子吸胀萌发时,胚根最先吸水膨胀突破种皮,因此其在 Cd 的积累量及胁迫的时间和进程上均大于胚芽,从而表现为胚根对重金属污染的反应更直接、敏感<sup>[10-11]</sup>。徐州市主推的 14 个小麦品种中仅百农 AK58 和新麦 208 在 40 mg·L<sup>-1</sup> 镉胁迫

下,其综合胁迫指数大于 0.5,属于强抑制品种,57.1%的小麦品种为耐受型小麦品种。

### 参考文献:

- [1] 张兴梅,杨清伟,李扬. 土壤镉污染现状 & 修复研究进展[J]. 河北农业科学,2010,14(3):79-81.
- [2] He J Y,Zhu C,Ren Y F,et al. Genotypic variation in grain cadmium concentration of lowland rice[J]. J Plant Nutri Soil Sci,2006(169):711-716.
- [3] 张磊,于燕玲,张磊. 外源镉胁迫对玉米幼苗光合特性的影响[J]. 华北农学报,2008,23(1):101-104.
- [4] 何俊瑜,任艳芳,朱诚,等. 镉胁迫对镉敏感水稻突变体活性氧代谢及抗氧化酶活性的影响[J]. 生态环境学报,2008,17(3):1004-1008.
- [5] 王晓,许爱芹,强艳艳,等. 徐州北郊农业区土壤和小麦籽粒重金属污染研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(3):1124-1125.
- [6] 强承魁,秦越华,丁永辉,等. 徐州地区麦田土壤和小麦籽实重金属污染特征分析[J]. 生态环境学报,2016,25(6):1032-1038.
- [7] 何俊瑜,任艳芳,任明见,等. 镉对不同小麦品种种子萌发的影响[J]. 中国农学通报,2009,25(10):235-240.
- [8] 曾翔,张玉烛,王凯荣,等. 镉对水稻种子萌发的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(7):1665-1668.
- [9] 马文丽,金小弟,王转花. 镉对乌麦种子萌发幼苗生长的影响[J]. 农业环境科学学报,2004,23(1):55-59.
- [10] 韩多红,孟红梅,王进,等. 镉对紫花苜蓿种子萌发等生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(5):151-155.
- [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.

## Tolerance Response on Cadmium Stress in Seed Germination of Different Wheat Varieties

CAO Dan, BAI Yao-bo, QIANG Cheng-kui, FENG Wu-jian, HU Chang-xiao

(Xuzhou Key Laboratory of Modern AgroBiotechnology, Xuzhou Vocational College of Bio-engineering, Xuzhou, Jiangsu 221006)

**Abstract:** In order to select the Cd tolerant wheat varieties suitable for Xuzhou area, the effects of 40 mg·L<sup>-1</sup> cadmium stress on the germination vigor, germination rate, radicle length, plantule length, the fresh weight of radicle and plantule of wheat varieties were analyzed by indoor cultivation experiment, and the tolerance responds on cadmium stress in the main 14 popularized wheat varieties of Xuzhou city were investigated. The results showed that the tolerance of different wheat varieties to Cd stress was different, and the effect of Cd stress on germination vigor of wheat was greater than that of germination rate. The radicle length of wheat had the weakest tolerant to cadmium stress. Cluster analysis of the composite index in grains showed that the 14 wheat varieties could be sorted into three groups. Bainong AK58 and Xinmai208 were in the group of inhibitory type of Cd stress. Qianmail, Xinmai288, Yunong35 and Jinhe9123 were in the group of midium-inhibitory type. Xumai30, Xumai33, Baomai5, Baomai2, Yannong19, Bainong207, Huaimai20 and Huaimai35 were in the group of tolerant type.

**Keywords:** Cadmium stress; wheat varieties; tolerance; response