

# 10个冬小麦品种萌发期抗旱性评价

郑立龙<sup>1</sup>, 李兴茂<sup>2</sup>

(1. 甘肃省农业科学院农业经济与信息研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 以10个不同抗旱性差异的小麦品种为材料, 利用不同浓度PEG进行胁迫处理, 测定冬小麦胚芽长度、胚根数、胚根长度、芽鞘长度等4个生长指标, 评价不同冬小麦品种萌发期的抗旱性能。结果表明, 冬小麦萌发期抗旱性鉴定首先应选PEG25%浓度, 依据致死程度确定出具有明显抗旱性差异的品种, 然后在20%PEG浓度的胁迫下, 根据各生长指标来综合分析品种的抗旱性差异。各生长指标对干旱环境的敏感性由强到弱为胚芽鞘长度、胚根长度、胚根数、胚芽长度, 表明胚芽鞘长度可作为萌发期抗旱性最佳鉴定指标。与对照(无PEG胁迫)相比, 陇鉴19、陇鉴196、西峰20号、陇鉴127等4个品种在25%PEG浓度下未发生致死, 且在20%胁迫下胚根数、胚根长度、胚芽鞘长度、胚芽长度的变幅较小。因此, 这4个品种抗旱性能强, 为适宜的耐旱品种。

**关键词:** 冬小麦; 萌发期; 抗旱性; 渗透胁迫

**中图分类号:** S512.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2021)02-0070-06

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2021.02.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2021.02.018)

## Evaluation of Drought Resistance of Ten Winter Wheat Cultivars at Germination Stage

ZHENG Lilong<sup>1</sup>, LI Xingmao<sup>2</sup>

(1. Institute of Agricultural Economy and Information, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Institute of Dryland Agricultural, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** The ten winter wheat cultivars of different drought resistance were used as material, and were stressed by different concentrations of PEG. The wheat germ length, the number of radicle, the radicle length and

**收稿日期:** 2020-12-29

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(31460349)。

**作者简介:** 郑立龙(1972—), 男, 山西万荣人, 助理研究员, 主要从事农业科技信息及旱地农业研究工作。Email: dragonzll@163.com.

**通信作者:** 李兴茂(1975—), 男, 甘肃张家川人, 研究员, 博士, 主要从事小麦育种研究工作。联系电话: (0931)7614895。Email: 357688067@qq.com。

- 
- 豆复种冬油菜豇豆高效种植模式[J]. 甘肃农业科技, 2015(10): 48-50.
- [2] 郭敏明. 武山县河谷川区莴笋复种蒜苗栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2020(9): 90-92.
- [3] 郭敏明. 武山县山旱地油菜茬复种全膜双垄沟播豆角栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2014(8): 68-69.
- [4] 管青霞, 李圆, 李城德, 等. 马铃薯复种黄瓜一草三膜覆盖栽培技术规程[J]. 甘肃农业科技, 2019(8): 91-94.
- [5] 赵维涛, 李继明. 旱作区黑色地膜全膜双垄侧播马铃薯套种豌豆栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2013(1): 59-60.

(本文责编: 杨杰)

the coleoptile were analyzed after water stress, and then winter wheat drought resistance was evaluated. The results showed that PEG concentration should be chosen first 25% conditions for winter wheat germination drought resistance identification. According to the degree of death, the drought resistance were identified. Then under the stress of the PEG concentration of 20%, the difference of drought resistance were analyzed comprehensively according to the growth indexes. The growth index sensitivity to drought from strong to weak was coleoptile length, germs radicle length, germs radicle number, the radicle length. The results indicated that the length of the coleoptile sheath could be the best index for the identification of drought resistance during germination. Compared with the CK (no PEG stress), Longjian 19, Longjian 196, xifeng 20 and Longjian 127 varieties did not happen to death under 25% PEG concentration, and under the stress of 20%, the range of radicle, radicle length, coleoptile, germ long were smaller. Therefore, the four varieties of drought resistance performance was good, which were the suitable varieties for drought resistance.

**Key words:** Winter wheat; Germination stage; Drought resistance; Osmotic stress

冬小麦是我国西北和华北半干旱地区主要的粮食作物。在冬小麦播种到出苗期,由于干旱少雨,给种子的萌发出苗造成了伤害,严重影响了其正常的生长发育和产量的提高<sup>[1]</sup>。应用抗旱性强的冬小麦品种,是适应播种出苗期土壤干旱的一条重要途径。作物的抗旱性是一个复杂的综合特性,发生在作物生长发育的不同阶段,作物在不同生育时期抵抗干旱胁迫的内在机制不同<sup>[2]</sup>。种子萌芽期抗旱性鉴定内容包括种子的发芽率、发芽势、萌发抗旱指数等,是鉴定玉米、小麦、水稻、高粱等作物整体抗旱性的重要指标<sup>[3-7]</sup>,具有一定的可靠性,但不同作物萌芽期抗旱性的主要鉴定指标仍存在一定差异<sup>[8-9]</sup>。

聚乙二醇(PEG-6000)是一种高分子渗透剂,具有很好的水溶性和脂溶性。一定浓度的 PEG 能使植物组织和细胞处于类似于干旱的胁迫之中<sup>[10]</sup>,能够有效模拟土壤干旱环境,对植物细胞不会造成影响<sup>[11]</sup>。运用 PEG 模拟干旱胁迫研究小麦苗期的文献也有报道,如王瑾等<sup>[12]</sup>采用 PEG 胁迫处理研究了小麦幼苗形态及主要理化特性、根系特性和抗旱性的关系;郁飞燕等<sup>[13]</sup>研究了 PEG 胁迫对不同品系小麦种子萌发的影响;姜淑欣等<sup>[14]</sup>采用 PEG 模拟研究干旱胁迫及复水对小麦幼苗叶片与脯氨酸代谢关键酶活性的影响;周国雁等<sup>[15]</sup>采用 16.1%的 PEG

溶液胁迫处理研究了云南小麦品种种子萌发期的性状变化,并依据该变化对品种抗旱等级进行了划分。然而采用不同 PEG 浓度进行干旱胁迫处理来研究冬小麦种子萌发期抗旱性比较研究的报道很少。我们于 2017—2019 年以西北地区应用的耐旱性冬小麦品种为材料,通过不同浓度的 PEG 对冬小麦种子进行水分胁迫处理,对品种间抗旱性的差异进行了比较研究,分析对冬小麦萌发期抗旱性的最适宜 PEG 浓度及指标体系,并对不同品种的萌发期抗旱性做出客观评价,以期对冬小麦早期抗旱性鉴定提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

选用在西北地区具有一定耐旱性的冬小麦品种陇鉴 196、陇鉴 19、西峰 20 号、陇鉴 127、陇鉴 294、晋太 170、陇鉴 338、兰天 4 号、临抗 1 号及西农 1043 等为试验材料,均由甘肃省农业科学院旱地农业研究所提供。

### 1.2 试验设计

试验设 0 (G, CK)、5%(A)、10%(B)、15%(C)、20%(D)、25%(E)6 个 PEG 浓度梯度处理,共 60 个处理,3 次重复。

### 1.3 测定项目与方法

试验采用室内 PEG 干旱模拟方式。在直径为 10 cm 的培养皿内放 3 张滤纸,加蒸馏水 6 mL 制成发芽床。取萌动 24 h 的种子

30 粒, 摆放在发芽床上, 24 h 后加不同浓度的 PEG-6000 溶液各 6 mL。培养第 4 天调查发芽势, 第 7 天调查发芽率, 第 8 天剪下根芽, 分别测量胚芽、胚根的相关指标。剩余籽粒称重后放入烘箱 105 °C 下杀死, 70 °C 下烘至恒重, 称量干重, 计算干物质含量。

发芽势 = (4 d 后正常发芽的种子数 / 供试种子数) × 100%

发芽率 = (7 d 后正常发芽的种子数 / 供试种子数) × 100%

#### 1.4 统计分析

采用 SPSS 16.0 软件对供试材料的各性状进行多元方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 PEG 胁迫对冬小麦种子萌发的影响

观察结果表明, 不同冬小麦品种对 25% PEG 胁迫反应差异大, 其中陇鉴 196、陇鉴 19、西峰 20 号、陇鉴 127 没有发生致死, 而临抗 1 号、西农 1043 全部致死, 其余品种均有不同程度的致死。根据 PEG 胁迫对冬小麦种子萌发的伤害程度, 可以初步判断陇鉴 196、陇鉴 19、西峰 20 号、陇鉴 127 抗旱性强, 临抗 1 号、西农 1043 抗旱性差, 陇鉴 294、晋太 170、陇鉴 338、兰天 4 号抗旱性中等。

### 2.2 PEG 胁迫对冬小麦胚根数的影响

不同冬小麦品种的胚根数量受不同浓度

PEG 胁迫的差异大(表1)。其中, 在没有 PEG 胁迫(G水平)时, 胚根数由多到少依次为晋太 170、兰天 4 号、西农 1043、陇鉴 127、陇鉴 294、临抗 1 号、西峰 20 号、陇鉴 196、陇鉴 19、陇鉴 338, 品种间变异幅度为 3.0%~4.4%; 20%的 PEG 胁迫(D水平)时, 胚根数由多到少依次为兰天 4 号、陇鉴 294、陇鉴 196 及晋太 170、陇鉴 19、西峰 20 号、临抗 1 号、陇鉴 338、西农 1043 及陇鉴 127。同一品种条件下, 与对照(G水平)相比, 除陇鉴 127、兰天 4 号、晋太 170 外, 其余品种在低浓度胁迫(A水平)下均表现为胚根数增加, 高浓度胁迫(D、E水平)下表现为胚根数减少, 说明轻度干旱胁迫有利于胚根的生长。陇鉴 19、陇鉴 196、西峰 20 号等 3 个品种在 PEG 不同浓度胁迫下胚根数变化较小, 差异不显著, 表明这 3 个品种抗旱性能好。因此, 胚根数在不同水分胁迫条件下表现出明显的差异性, 在一定程度上能够反映品种抗旱性能的强弱。

### 2.3 PEG 胁迫对冬小麦胚根长度的影响

不同冬小麦品种的胚根长度受在同一浓度 PEG 胁迫下的结果明显不同(表2)。其中, 在 10%PEG 浓度条件下, 胚根长度与品种抗旱性之间没有明显的相关关系; 在 15%PEG 处理下, 各品种的胚根长度均显著大于西农 1043, 其中陇鉴 127、陇鉴 294、

表 1 PEG 胁迫下不同冬小麦品种的胚根数<sup>①</sup>

品种	胚根数/条					
	G(CK)	A	B	C	D	E
陇鉴294	3.22c	3.65bc	3.98ab	3.26bc	3.01b	0.00c
陇鉴338	3.00c	3.48cde	3.82bc	3.39b	2.72c	0.00c
临抗1号	3.21c	3.35cde	3.58cd	3.00c	2.74c	0.00c
陇鉴196	3.14c	3.16e	3.27def	3.06c	3.00b	3.08ab
西峰20号	3.17c	3.29de	3.09f	3.06c	2.86bc	2.86b
陇鉴19	3.06c	3.22de	3.06f	3.04c	2.99b	3.03b
陇鉴127	3.94b	3.50cd	3.22ef	3.23bc	0.00d	0.00c
兰天4号	4.20ab	3.88ab	4.27a	3.89a	3.63a	3.50a
晋太170	4.37a	3.23de	3.33def	3.00c	3.00b	0.00c
西农1043	4.04ab	4.14a	3.46de	3.20bc	0.00d	0.00c
CV/%	15.56	10.14	11.97	9.14	52.09	126.17

<sup>①</sup>表中数据为相同处理 3 次重复的平均值; 小写字母代表 5%显著水平的差异性; G、A、B、C、D、E 分别代表 0、5%、10%、15%、20%、25%的 PEG 浓度处理, 下同。

晋太 170、陇鉴 196 等 4 个品种的胚根较长,表明在胚根长度这一指标方面,这 4 个品种的抗旱性较好。与对照相比,20%PEG 浓度干旱胁迫下,胚根长度的变化与品种抗旱性没有规律性。同一品种条件下,随着 PEG 浓度的增加,胚根长度在 5%浓度下略微增长,之后开始降低,但差异不显著;与对照相比,PEG 浓度为 20%条件下,胚根长度显著缩短,说明 PEG 模拟的干旱条件限制了胚根的伸长,20%PEG 下形成的高度干旱胁迫有利于表证品种间的抗旱差异性。从表 2 还可以看出,在供试的 10 个冬小麦品种中,同一品种随着 PEG 浓度增大,胚根伸长被胁迫的差异大,但其规律性并不强。

#### 2.4 PEG 胁迫对冬小麦胚芽长度的影响

不同冬小麦品种胚芽长度在 PEG 胁迫下存在差异(表3)。胚芽长度品种间存在显

著差异,但胚芽长度与品种抗旱性间的相关性规律性不明显。胚芽长度在无水分胁迫(G水平)和 25%PEG 浓度(E水平)严重胁迫时,差异相对明显。除陇鉴 338、西农 1043、临抗 1 号在 5%PEG 浓度下胚芽长度反而伸长外,其余品种的胚芽长度均随胁迫浓度增加而缩短。陇鉴 196、陇鉴 19、西峰 20 号、陇鉴 127 随着 PEG 浓度的增加,胚芽长度变幅小,其抗旱性能较好;而临抗 1 号、西农 1043 随着 PEG 浓度的增加,胚芽长度变幅较大,抗旱性能较差。同一品种条件下,与对照相比,随着水分胁迫程度的加重,大部分品种胚芽长度缩短,说明高浓度 PEG 溶液严重制约胚芽生长。

#### 2.5 PEG 胁迫对冬小麦胚芽鞘长度的影响

不同冬小麦品种胚芽鞘长度受不同浓度 PEG 胁迫的差异也十分明显(表4)。不同品种的胚芽鞘长度均随 PEG 胁迫浓度的增加

表 2 PEG 胁迫下不同冬小麦品种的胚根长度

品种	胚根长度/mm					
	G(CK)	A	B	C	D	E
陇鉴294	7.78c	8.32a	6.48de	7.76b	4.53d	0.00d
陇鉴338	8.93b	9.32a	6.71cd	7.43bc	5.99abc	0.00d
临抗1号	6.82d	9.09a	8.17b	7.61bc	6.24abc	0.00d
陇鉴196	9.88a	8.54a	8.15b	7.67bc	6.36ab	4.55b
西峰20号	8.56bc	5.63b	6.88cd	6.93bc	5.69bcd	3.64c
陇鉴19	8.23bc	8.21a	6.37de	6.83bc	6.08abc	4.58b
陇鉴127	2.84g	8.91a	9.48a	8.81a	0.00e	0.00d
兰天4号	5.66e	5.95b	7.52bc	6.78c	4.95cd	4.86a
晋太170	4.78f	9.13a	9.06a	7.70bc	7.08a	0.00d
西农1043	5.06ef	8.44a	5.75e	5.73d	0.00e	0.00d
CV/%	31.56	19.19	16.93	12.48	55.02	125.92

表 3 PEG 胁迫对不同冬小麦品种的胚芽长度

品种	胚芽长度/mm					
	G(CK)	A	B	C	D	E
陇鉴294	9.42a	7.53b	4.69bc	3.49abc	1.66a	0.00d
陇鉴338	7.03bc	8.94ab	6.17a	4.23a	1.64a	0.00d
临抗1号	7.42b	9.88a	6.05ab	2.65bc	0.82b	0.00d
陇鉴196	5.68d	5.36c	5.08abc	3.10abc	1.86a	0.95c
西峰20号	6.47bcd	4.68c	4.44c	3.79ab	1.94a	0.99c
陇鉴19	6.04 cd	5.67c	4.68bc	3.67ab	2.04a	1.55b
陇鉴127	5.56 d	4.40c	4.07c	3.68ab	2.12a	1.87a
兰天4号	5.47 d	5.69c	4.99abc	3.48abc	0.00c	0.00d
晋太170	5.90 d	5.04c	4.39c	3.22abc	1.68a	0.00d
西农1043	5.50 d	5.94c	3.73c	2.02c	0.00c	0.00d
CV/%	20.29	30.63	21.03	28.04	61.06	134.56



表 4 PEG 胁迫下不同冬小麦品种的胚芽鞘长度

品种	胚芽鞘长度/mm					
	G(CK)	A	B	C	D	E
陇鉴294	6.09a	5.63a	4.08abc	2.87bcd	1.66a	0.00d
陇鉴338	5.94a	5.76a	4.07abc	3.96a	1.64a	0.00d
临抗1号	5.39b	4.84bcd	4.29ab	2.65cd	0.82b	0.00d
陇鉴196	5.46b	5.36abc	5.08a	3.10abc	1.86a	0.95c
西峰20号	5.79ab	4.66cde	4.35ab	3.79ab	1.94a	0.99c
陇鉴19	5.66ab	5.49ab	4.68ab	3.67ab	2.04a	1.55b
陇鉴127	3.61de	4.06e	4.00abc	3.62abc	2.12a	0.00d
兰天4号	3.99cd	4.36de	4.69ab	3.47abc	0.00c	
晋太170	3.34e	4.01e	3.71bc	3.22abc	1.68a	0.00d
西农1043	4.06c	4.19de	3.19c	2.02d	0.00c	0.00d
CV/%	21.13	15.43	17.17	22.69	61.06	134.56

而缩短。而陇鉴 196、陇鉴 19、西峰 20 号、陇鉴 127 等品种随着浓度增加，胚芽鞘长度缩短的变幅小，抗旱性能好；而临抗 1 号、西农 1043 等品种随着浓度增加，胚芽鞘长度缩短的变幅较大，抗旱性能较差。同一品种条件下，抗旱性能好的陇鉴 19、陇鉴 196、西峰 20 号等 3 个品种对 PEG 浓度胁迫的反映相对不敏感，胚芽鞘长度的变幅也相对较小。

可见，用于冬小麦萌发期抗旱性鉴定的 PEG 浓度首先应选择 25% 条件，依据致死程度判决具有明显抗旱性差异的品种；然后在 20% 浓度的胁迫下，根据各生长指标来综合分析冬小麦品种的抗旱性差异。各生长指标对干旱环境的敏感性由强到弱依次为胚芽鞘长度、胚根长度、胚根数、胚芽长度。依据上述评价标准，本次试验选用的 10 个冬麦品种抗旱性由强到弱顺序为：陇鉴 19、陇鉴 196、西峰 20 号、陇鉴 127、兰天 4 号、陇鉴 294、晋太 170、陇鉴 338、临抗 1 号、西农 1043。

### 3 结论与讨论

利用不同浓度 PEG 对 10 个冬小麦品种进行胁迫处理，评价不同冬小麦品种萌发期的抗旱性能。结果表明，冬小麦萌发期抗旱性鉴定首先应选 25% PEG 浓度，依据致死程度确定出具有明显抗旱性差异的品种。然后在 20% 浓度的胁迫下，根据各生长指标来

综合分析品种的抗旱性差异。各生长指标对干旱环境的敏感性由强到弱依次为胚芽鞘长度、胚根长度、胚根数、胚芽长度，表明胚芽鞘长度可作为萌发期抗旱性最佳鉴定指标。依据上述评价标准，本试验选用的 10 个品种的抗旱性由大到小的顺序为：陇鉴 19、陇鉴 196、西峰 20 号、陇鉴 127、兰天 4 号、陇鉴 294、晋太 170、陇鉴 338、临抗 1 号、西农 1043。与对照(PEG 浓度为 0)相比,陇鉴 19、陇鉴 196、西峰 20 号、陇鉴 127 等 4 个品种在 25%PEG 浓度下未发生致死，且在 20%PEG 胁迫下胚根数、胚根长度、胚芽鞘长度、胚芽长度的变幅较小。因此，这 4 个品种抗旱性能强，为适宜的耐旱品种。

干旱是冬小麦生产中主要的自然灾害之一，充分挖掘小麦自身的耐旱潜力，引进和筛选抗旱品种，在一定程度上可缓解干旱胁迫对冬小麦萌发的危害。有学者认为，在干旱胁迫条件下水分胁迫均会不同程度地抑制植物种子的萌发，进而降低发芽率<sup>[16]</sup>。也有学者认为，轻度水分胁迫在一定程度上能够促进小麦种子的萌发<sup>[15]</sup>。本研究结果在轻度水分胁迫条件下也得出了类似的结论。产生这一结果的原因，可能是因为轻度的水分胁迫“激发”了小麦种子的耐旱潜能，促进了种子的萌发。

PEG 是一种模拟不同程度干旱胁迫的有

效工具<sup>[17]</sup>。而在小麦品种抗旱性评价研究中, 选用适宜PEG浓度对品种抗旱性进行评价, 可以提高品种筛选的效率和准确度。在本研究中, 低浓度(5%~10%)模拟的轻度胁迫条件对一些品种的萌发有抑制作用, 但对另一些品种有促进作用; 而高浓度(20%~25%)模拟的重度胁迫条件, 几乎所有的品种均呈现不同程度的抑制作用, 即冬小麦种子在高浓度PEG胁迫下存在明显的品系差异, 有利于进行抗旱性评价。因此, 本研究认为可以先选择25%PEG浓度条件下具有明显抗旱性差异的品种, 依据致死程度判决; 然后在20%浓度的胁迫下, 利用种子萌发期各生长指标来综合评价品种间的抗旱性差异。

种子萌发本身是一个极其复杂的生理生化过程, 不同植物或同一植物不同品系间的耐旱能力不同, 必须对多个指标进行综合考虑, 才能正确评价冬小麦种子在PEG胁迫下耐旱能力的强弱<sup>[12,18]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 王曙光, 孙黛珍, 周福平, 等. 六倍体小黑麦萌发期抗旱性分析[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1403-1408.
- [2] 张玉梅, 林琪, 姜雯, 等. 渗透胁迫条件下不同抗旱性小麦品种萌发期生理生化指标的变化[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(6): 125-130.
- [3] 董志强, 贾秀领, 张丽华, 等. 玉米种子萌发期抗旱性鉴定方法及不同杂交种抗旱性比较研究[J]. 华北农学报, 2012, 27(1): 178-183.
- [4] 赫福霞, 李柱刚, 阎秀峰, 等. 渗透胁迫条件下玉米萌芽期抗旱性研究[J]. 作物杂志, 2014(5): 144-147.
- [5] 杨子光, 张灿军, 冀天会, 等. 小麦抗旱性鉴定方法及评价指标研究: IV. 萌发期抗旱指标的比较研究[J]. 中国农学通报, 2008, 23(12): 173-176.
- [6] 敬礼恒, 陈光辉, 刘利成, 等. 水稻种子萌发期的抗旱性鉴定指标研究[J]. 杂交水稻, 2014, 29(3): 65-69.
- [7] 吴奇, 周宇飞, 高悦, 等. 不同高粱品种萌发期抗旱性筛选与鉴定[J]. 作物学报, 2016, 42(8): 1233-1246.
- [8] 安永平, 强爱玲, 张媛媛, 等. 渗透胁迫下水稻种子萌发特性及抗旱性鉴定指标研究[J]. 植物遗传资源学报, 2006(4): 421-426.
- [9] 陈新, 宋高原, 张宗文, 等. PEG-6000胁迫下裸燕麦萌发期抗旱性鉴定与评价[J]. 植物遗传资源学报, 2014(6): 1188-1195.
- [10] VAN DER WEELE C M, SPOLLEN W G, SHARP RE, BASKINTI. Growth of *Arabidopsis thaliana* seedlings under water deficit studied by control of water potential in nutrient-agar media[J]. J. Exp. Bot., 2000, 51(350): 1555-1562.
- [11] VAN DEN BERG L, ZENG Y J. Response of South African indigenous grass species to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000 [J]. South African Journal of Botany. 2006, 72(2): 284-286.
- [12] 王瑾, 刘桂茹, 杨学举. PEG胁迫下小麦再生植株根系特性与抗旱性的关系[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(3): 117-119.
- [13] 郁飞燕, 李保峰, 李巍, 等. PEG-6000胁迫对不同品系小麦种子萌发的影响[J]. 山东农业科学, 2012, 44(10): 51-53.
- [14] 姜淑欣, 刘党校, 庞红喜, 等. PEG胁迫及复水对不同抗旱性小麦幼苗脯氨酸代谢关键酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(8): 1581-1587.
- [15] 周国雁, 隆文杰, 雷涌涛, 等. PEG处理下小麦种子萌发期的性状变化与品种抗旱性级别划分[J]. 西南农业学报, 2015, 28(6): 2348-2354.
- [16] 杨柳, 周瑞阳, 金声杨. PEG模拟干旱胁迫对11份黄麻种子萌发的效应[J]. 南方农业学报, 2011, 42(7): 715-718.
- [17] 刘婷婷, 庞进平, 徐一涌. 干旱胁迫对不同油菜品种苗期生物量和根系的影响[J]. 甘肃农业科技, 2019(6): 8-11.
- [18] 贾寿山, 朱俊刚, 王曙光, 等. 山西小麦地方品种萌发期的抗旱性[J]. 华北农学报, 2011, 26(2): 213-217.

(本文责编: 陈珩)