

尤燕聪,王宏凯,艾明军,等. PEG 模拟干旱胁迫对南疆小麦发芽和幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(21):98-105.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.21.016

PEG 模拟干旱胁迫对南疆小麦发芽和幼苗生长的影响

尤燕聪¹, 王宏凯¹, 艾明军¹, 古丽比亚·海热阿提¹, 潘洪建¹, 胡银岗², 文卿琳¹

(1. 塔里木大学农学院, 新疆阿拉尔 843300; 2. 旱区作物逆境生物学国家重点实验室/西北农林科技大学农学院, 陕西杨凌 712100)

摘要:为探究不同浓度聚乙二醇 6000(PEG-6000)溶液模拟干旱胁迫对小麦芽期生长发育特性的影响,同时筛选室内模拟干旱胁迫的最适宜 PEG 浓度,以南疆 2 个主栽冬小麦品种和 1 个主栽春小麦品种为供试材料,设 5 个 PEG 浓度(0、10%、15%、20%、25%)处理,分析不同浓度 PEG 对南疆小麦种子发芽率、发芽势、发芽指数、苗高、茎粗、根长、总鲜质量、总干质量、相对抗旱发芽率、植株绝对含水量等 21 个生长发育特性指标的影响。结果表明,小麦发芽势、发芽率、发芽指数与活力指数随着 PEG 浓度的增加而下降;在 PEG 胁迫下,苗高、茎粗、根长的生长受到抑制,且浓度越高抑制越明显。3 个品种相比,冬小麦较春小麦芽期耐旱;2 个冬麦相比,新冬 39 在轻度干旱胁迫下较新冬 55 抗旱,而随着 PEG 浓度增加,新冬 55 较新冬 39 抗旱。不同处理间表现为 25% PEG 胁迫严重降低了发芽率、发芽势,10% PEG 胁迫与对照间差异不显著,因此得出,15%、20% PEG 浓度都可以作为小麦芽期室内模拟干旱胁迫的适宜 PEG 浓度。

关键词:小麦;芽期;干旱胁迫;南疆;PEG-6000;幼苗生长

中图分类号:S512.101 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)21-0098-08

干旱会影响作物的生长发育和产量^[1],这是农业研究领域的一个全球性问题。在我国,处在干旱或半干旱地区的耕地占全部耕地面积的 35%,干旱

是造成作物消失的主要原因^[2]。小麦作为全球极重要的粮食作物之一,其特点是适应性广、耐储藏^[3],其整个生育周期较长且需水量大,正常的生长发育和高产都需要充足的水分供给^[4],但在小麦生长发育过程中,由于经常受到外界不同胁迫因素的影响,导致小麦低产低质,而干旱胁迫则是小麦整个生育期中最常见的非生物胁迫^[5]。在我国北方小麦种植过程中,冬春季干旱较为普遍,严重影响了小麦种植分蘖期和幼穗期的生长发育,导致小麦种群数量不足、质量低下,这很难为后续产量的形成奠定良好基础^[6]。因此,提高小麦品种的抗旱能力,是在水资源匮乏地区维持小麦稳产的重要

收稿日期:2022-08-29

基金项目:塔里木大学重大项目培育专项(编号:TDZKZD202103);

旱区作物逆境生物学国家重点实验室开放课题(编号:CSBAA202209);大学生创新创业项目(编号:22000031306、22000031322)。

作者简介:尤燕聪(1998—),女,河北保定人,硕士研究生,主要从事小麦抗旱性研究。E-mail:2915825966@qq.com。

通信作者:文卿琳,硕士,副教授,主要从事作物逆境生理生态研究。E-mail:wqlzky@163.com。

[18]陈正龙,周铭成,赵伯康,等. 水稻“扩行、减苗”与群体质量关系的再论证[J]. 江苏农业科学,2005,33(5):32-34.

[19]杨军,章毅之,贺浩华,等. 水稻高温热害的研究现状与进展[J]. 应用生态学报,2020,31(8):2817-2830.

[20]汤亮,朱相成,曹梦莹,等. 水稻冠层光截获、光能利用与产量的关系[J]. 应用生态学报,2012,23(5):1269-1276.

[21]李霞,焦德茂,刘友良. 不同水稻品种各层叶片光合能力的比较[J]. 江苏农业学报,2004,20(4):213-219.

[22]王术,王伯伦,黄元财,等. 不同水稻品种生育后期光合特性的比较[J]. 沈阳农业大学学报,2003,34(1):1-3.

[23]王绍华,曹卫星,姜东,等. 水稻强化栽培对植株生理与群体发育的影响[J]. 中国水稻科学,2003,17(1):31-36.

[24]金军,薛艳凤,于林惠,等. 水稻不同种植方式群体质量差异

比较[J]. 中国稻米,2006,12(6):31-33.

[25]周巍,王万洪,郑普兵,等. 宽窄行栽培技术在再生稻上的应用研究[J]. 中国稻米,2019,25(2):72-74.

[26]王建林,徐正进. 穗型和行距对水稻冠层受光态势的影响[J]. 中国水稻科学,2005,19(5):422-426.

[27]Tsukaguchi T, Horie T, Ohnishi M. Filling percentage of rice spikelets as affected by availability of non-structural carbohydrates at the initial phase of grain filling[J]. Japanese Journal of Crop Science,1996,65(3):445-452.

[28]林洪鑫,肖运萍,袁展汽,等. 水稻合理密植及其优质高产机理研究进展[J]. 中国农学通报,2011,27(9):1-4.

[29]李小朋,王术,黄元财,等. 株行距配置对齐穗期粳稻冠层结构及产量的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(11):3329-3336.

途径^[5]。

芽期是小麦组织建成的重要时期^[7]。小麦芽期干旱会严重影响光合器官的形成,影响麦穗,从而影响小麦的最终产量^[8]。因此,小麦对早期干旱的耐性直接关系到中后期的生长和产量发展。小麦芽期的抗旱性研究试验主要在室内进行,大多利用聚乙二醇(PEG)溶液模拟干旱胁迫对不同小麦品种的抗旱性进行鉴定,在 PEG 浓度的选择中,大多数使用 20% PEG 进行模拟^[9]。单一的指标很难准确鉴定其抗旱性,作物抗旱性是一种非常复杂的性状^[10-11],通常会采用隶属函数值、灰色关联度、主成分分析、方差分析、聚类分析等方法进行综合评价^[9]。王永刚等对新疆的 134 份冬小麦品种和 54 份育成品种进行萌发期耐寒性的鉴定和筛选,利用主成分分析筛选出 10 份强抗旱的新疆冬小麦品种^[12];张龔等对引进的 105 份春小麦品种(系)进行芽期抗旱性分析,通过综合耐旱系数法、灰色关联度分析法筛选出 11 份抗旱性较好的品种(系)^[13];孙楠楠等通过综合抗旱系数和聚类分析法,从 240 份小麦品种(系)中筛选出 13 份高抗旱材料^[14]。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

本研究于 2022 年 4 月在塔里木大学作物逆境生理生态栽培实验室进行,以南疆 3 种主栽冬春麦品种为试验材料,分别为新春 6 号、新冬 39 和新冬 55。

1.2 试验设计

从 3 个小麦品种中选取 350 粒种子,用 75% 乙醇消毒 1 min,然后用清水冲洗种子 2~3 次,吸水膨胀 12 h 后,在直径为 9 cm 的培养皿中铺上 2 层滤纸,每个培养皿中均匀摆放 20 粒籽粒饱满、无破损的种子,设置 4 个不同浓度的 PEG 处理,浓度分别设为 10%、15%、20%、25%,每个培养皿中加入 10 mL 相应浓度的 PEG-6000 溶液,另设置 1 组不添加 PEG-6000 溶液的处理作为对照,设 3 次重复,以胚根与种子等长、胚芽长达种子长度的 1/2 作为发芽标准。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 发芽指标的测定 在处理 3、7 d 后统计发芽数,计算发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、相对抗旱发芽势、相对抗旱发芽率、相对发芽指数、相对活力指数、种子萌发抗旱指数和种子活力抗旱指

数,相关计算公式如下:

$$\text{发芽势} = (G_3/N) \times 100\%;$$

$$\text{发芽率} = (G_7/N) \times 100\%;$$

$$\text{发芽指数} = \sum (G_t/D_t);$$

$$\text{活力指数} = \text{鲜质量} \times \sum (G_t/D_t);$$

$$\text{相对抗旱发芽势} = (\text{处理发芽势}/\text{对照发芽势}) \times 100\%;$$

$$\text{相对抗旱发芽率} = (\text{处理发芽率}/\text{对照发芽率}) \times 100\%;$$

$$\text{相对发芽指数} = (\text{处理发芽指数}/\text{对照发芽指数}) \times 100\%;$$

$$\text{相对活力指数} = (\text{处理活力指数}/\text{对照活力指数}) \times 100\%;$$

$$\text{种子萌发抗旱指数} = \text{胁迫处理的发芽指数}/\text{对照的发芽指数} \times 100\%;$$

$$\text{种子活力抗旱指数} = \text{胁迫处理的活力指数}/\text{对照的活力指数} \times 100\%。$$

式中: G_3 为处理 3 d 每皿发芽种子数; N 为每皿种子数; G_7 为处理 7 d 每皿发芽种子数; G_t 为处理 t d 发芽种子数; D_t 为相应的发芽天数。

1.3.2 地上部、地下部指标的测定 在试验第 7 天,从每个处理中随机挑取 5 株,用游标卡尺测量每个品种的苗高、茎粗等,根长、根系表面积、根体积等数据使用根系扫描仪测量得出,称量植株总鲜质量及总干质量,计算植株绝对含水量、植株鲜质量含水量、相对苗高、相对茎粗和相对根长,计算公式如下:

$$\text{植株绝对含水量} = (\text{总鲜质量} - \text{总干质量})/\text{总干质量} \times 100\%;$$

$$\text{植株鲜质量含水量} = (\text{总鲜质量} - \text{总干质量})/\text{总鲜质量} \times 100\%;$$

$$\text{相对苗高} = \text{胁迫处理的苗高}/\text{对照的苗高} \times 100\%;$$

$$\text{相对茎粗} = \text{胁迫处理的茎粗}/\text{对照的茎粗} \times 100\%;$$

$$\text{相对根长} = \text{胁迫处理的根长}/\text{对照的根长} \times 100\%。$$

1.3.3 抗旱性的综合评价 通过各指标的隶属函数值 $[U(X_i)]$ 、权重 (W_i) 计算抗旱性综合评价值 $(D$ 值)。计算公式为:

$$U(X_i) = U(X_i - X_{\min})/U(X_{\max} - X_{\min});$$

$$W_i = P_i/\sum_{i=1}^n P_i;$$

$$D = \sum_{i=1}^n [U(X_i)W_i]$$

式中: X_i 为性状测定值; X_{\min} 和 X_{\max} 分别为相关性状的最小值、最大值; P_i 为某个品种第 i 个性状与抗旱系数间的相关系数。

1.4 数据处理

用 Excel 2016、IBM SPSS Statistics 23.0 进行方差分析、主成分分析和综合评价, 用爱普生 perfection V700 photo 进行根系图像扫描后得到图片, 再用 WinRHIZO 根系分析系统测定根系长度、根

系表面积等。

2 结果与分析

2.1 不同处理下小麦芽期各指标的方差分析

由表 1 可知, 不同小麦品种之间发芽指标和苗高的差异均达到极显著水平, 茎粗的差异显著, 其余指标的差异均不显著; 在不同 PEG 浓度处理之间, 各项指标的差异均达极显著水平; 在品种 × PEG 浓度之间, 各指标的差异均为不显著。

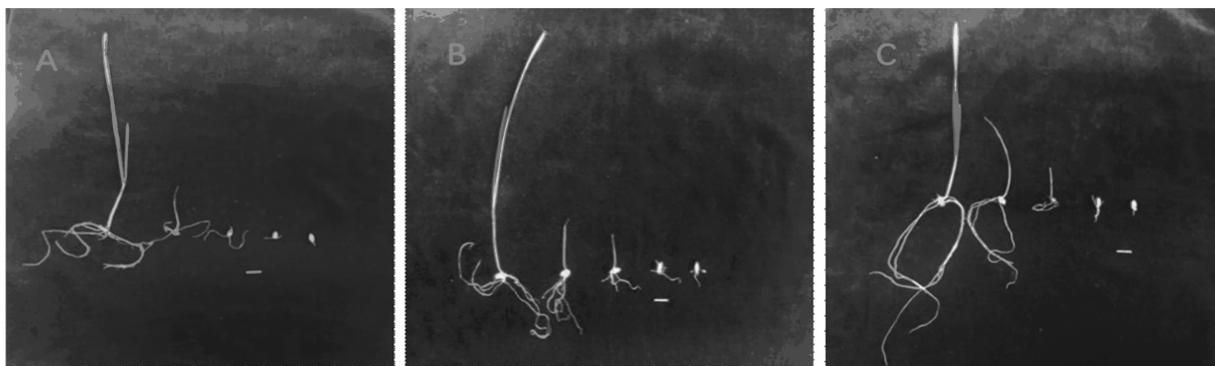
表 1 不同处理下小麦芽期各指标的方差分析

变异来源	F 值												
	发芽势	发芽率	发芽指数	活力指数	苗高	茎粗	根长	根系表面积	根体积	总鲜质量	总干质量	植株绝对含水量	植株鲜质量含水量
品种	57.43 **	65.01 **	68.34 **	23.31 **	11.01 **	4.14 *	0.52	0.95	0.30	2.56	0.47	2.26	0.46
浓度	6.38 **	16.04 **	9.93 **	11.07 **	399.32 **	12.87 **	27.17 **	78.24 **	77.92 **	203.74 **	10.75 **	172.51 **	46.87 **
品种 × 浓度	0.68	1.34	0.88	2.19	2.21	1.42	0.30	0.35	0.29	1.41	1.12	1.03	0.74

注: * 表示相关性显著 ($P < 0.05$); ** 表示相关性极显著 ($P < 0.01$)。

从图 1 可知, 在不同 PEG 浓度处理下, 3 个小麦品种的株高与根系均有明显差异, 说明 PEG 浓度不同, 小麦芽期的各项指标也会出现明显变化, 对其

具有显著影响, 而品种不同, 也会影响小麦芽期的发芽情况和苗高。



A—新春 6 号的生长状况; B—新冬 55 的生长状况; C—新冬 39 的生长状况

图 1 不同处理下小麦的生长情况

2.2 不同处理下小麦的发芽情况

由表 2 可知, 在不同 PEG 浓度处理下, 3 个小麦品种的发芽势、发芽率、发芽指数与活力指数都随着 PEG 浓度的增加而降低。当 PEG 浓度为 0 ~ 10% 时, 新冬 55 的发芽势呈下降趋势, 当 PEG 浓度为 10% ~ 15% 时呈上升趋势, 浓度 > 15% 时呈下降趋势; 当 PEG 浓度小于 15% 时, 相对抗旱发芽势呈上升趋势, 当 PEG 浓度大于 15% 时, 表现出下降趋势。当 PEG 浓度达到 15% 时, 新春 6 号小麦的各项指标多数出现显著差异, 当 PEG 浓度达到 25% 时, 3

个小麦品种的活力指数均为 0, 其余各项指标也较低, 新冬 39 与新冬 55 的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数在不同浓度 PEG 处理中均高于新春 6 号。由于当 PEG 浓度为 25% 时, 3 个小麦品种的发芽指数分别为 7.14、25.40、28.89, 活力指数均为 0.00, 生长状况不良, 因此在后期数据处理中不作考虑。

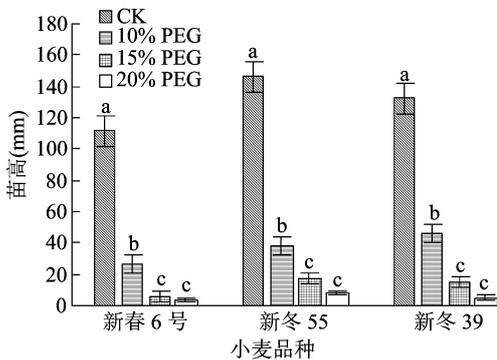
2.3 不同处理下小麦地上部、地下部的生长情况

2.3.1 不同处理下小麦地上部的生长情况 从图 2、图 3 可以看出, 当 PEG 浓度为 10% 时, 新冬 39 的

表2 不同处理下小麦的发芽情况

品种	PEG 浓度 (%)	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽指数	活力指数	相对抗旱发芽势 (%)	相对抗旱发芽率 (%)	种子萌发抗旱指数 (%)	种子活力抗旱指数 (%)
新春 6 号	0	50.00a	57.50a	24.88a	126.06a				
	10	53.33a	56.67ab	25.87ab	62.35a	106.67a	98.55a	103.99a	49.46a
	15	26.67b	38.33b	14.37b	24.18ab	53.33b	66.67ab	57.74b	19.18b
	20	23.33c	20.00c	10.63b	14.89b	46.67b	34.78b	42.74b	11.81b
	25	15.00d	15.00d	7.14c	0.00c	30.00c	26.09c	28.71c	0.00c
新冬 55	0	95.00a	100.00a	45.95a	212.15a				
	10	85.00a	98.33a	42.38a	89.00a	89.47a	98.33a	92.23a	41.95a
	15	86.67ab	93.33ab	42.22ab	66.85a	91.23a	93.33a	91.88a	31.51ab
	20	73.33b	71.67c	34.68b	56.07b	77.19b	71.67ab	75.47b	26.41b
	25	58.33c	41.67c	25.40c	0.00b	61.40b	41.67b	55.27b	0.00c
新冬 39	0	96.67a	100.00a	46.51a	248.04a				
	10	98.33a	96.67a	46.59a	128.89a	101.72a	96.67a	100.17a	51.96a
	15	88.33a	85.00b	41.59ab	71.39a	91.38b	85.00a	89.42a	28.78a
	20	75.00b	80.00c	36.43b	49.79b	77.59b	80.00a	78.33ab	20.07b
	25	56.67b	70.00c	28.89b	0.00b	58.62c	70.00b	62.12b	0.00c

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。表3同。



同一品种不同处理间标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。图3、4、5、7、8、9、10同

图2 不同处理各小麦品种的苗高

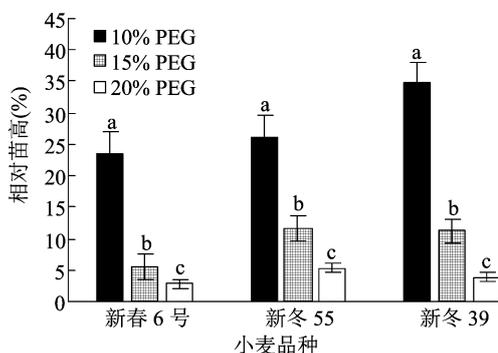


图3 不同处理各小麦品种的相对苗高

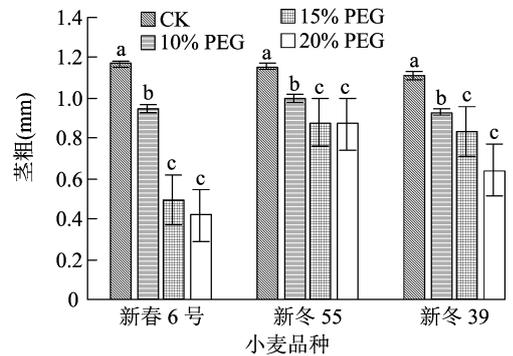


图4 不同处理各小麦品种间的茎粗

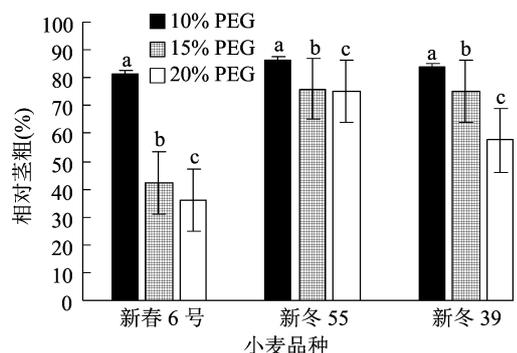


图5 不同处理各小麦品种的相对茎粗

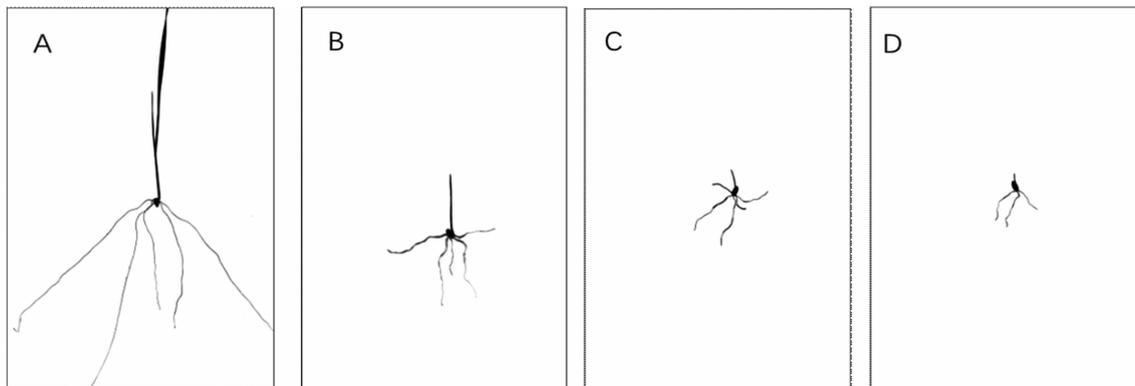
相对苗高最高,当 PEG 浓度为 15% ~ 20% 时,新冬 55 的相对苗高最高;从图 4、图 5 可以看出,新冬 55 的相对茎粗在 PEG 胁迫时最高,新春 6 号的茎粗随

胁迫浓度的增加下降趋势显著。在干旱胁迫下,新春 6 号地上部分的生长情况相较于其他 2 个品种稍显劣势。

2.3.2 不同处理下小麦地下部的生长情况 从图 6 可以看出,新冬 39 的根系随着 PEG 浓度的增加而

逐渐减小。由图 7 可知,当 PEG 浓度为 0~10% 时,新冬 39 的根长最高,新春 6 号的根长最低;当 PEG

浓度 >10% 时,新冬 55 的根长均最高,新冬 39 的根长均最低。



A: 无 PEG 处理的新冬 39 根系; B: 10% PEG 处理的新冬 39 根系; C: 15% PEG 处理的新冬 39 根系;
D: 20% PEG 处理的新冬 39 根系

图6 部分根系扫描结果

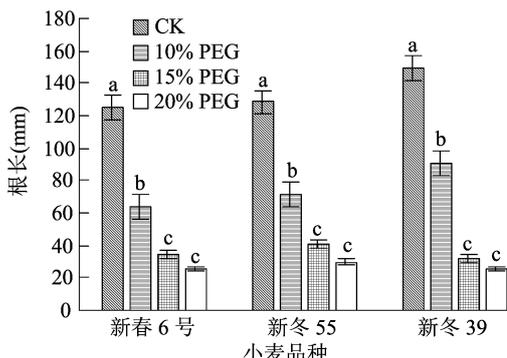


图7 不同处理各小麦品种的根长变化

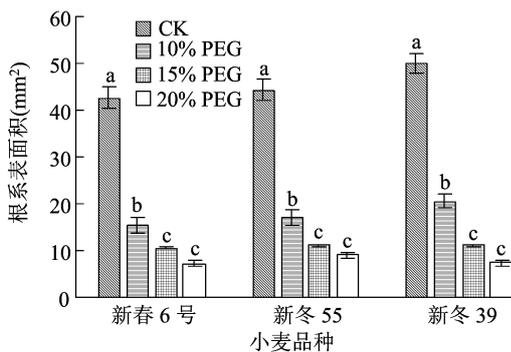


图8 不同处理各小麦品种的根系表面积

由图 8 可知,当 PEG 浓度为 0% 和 10% 时,新冬 39 的根系表面积最高,新春 6 号最低;当 PEG 浓度处于 15% 时,新冬 55 最高,新春 6 号最低;当 PEG 浓度为 20% 时,新冬 55 最高。由图 9 可知,当 PEG 浓度为 0% 时,新冬 39 的根体积最大,新冬 55 最小;当 PEG 浓度为 10% 时,新冬 55 最大,新春 6 号最小;当 PEG 浓度为 15% 时,新冬 39 最大,新冬 55 最小;当 PEG 浓度为 20% 时,新冬 55 最大,新春 6 号最小。由图 10 可知,当 PEG 浓度为 10% 时,新冬 39 的相对根长最大,新春 6 号最小;当 PEG 浓度为 15% 和 20% 时,新冬 55 最大,新冬 39 最小。

2.4 不同处理下小麦植株的干鲜质量

由表 3 可知,在不同浓度 PEG 处理下,新春 6 号与新冬 39 的总鲜质量呈下降趋势,新冬 55 的下降趋势在 PEG 浓度为 20% 时有所回升;新春 6 号的总干质量先呈上升趋势,在浓度为 20% 时出现下降趋势,新冬 55 在浓度为 20% 时总干质量最大,新冬 39 总干质量呈上升趋势;3 个小麦品种的植株绝对含水量、植株鲜质量含水量呈下降趋势;新春 6 号和新

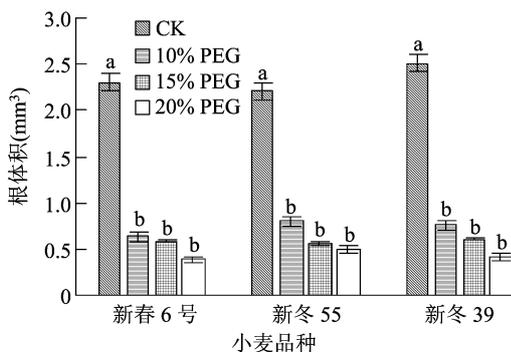


图9 不同处理各小麦品种的根体积

冬 39 的相对总鲜质量呈现下降趋势,新冬 55 的下降趋势在 PEG 浓度为 20% 时有所回升;新春 6 号的相对总干质量呈上升趋势,在 PEG 浓度为 20% 时有所下降,新冬 55 呈下降趋势,在浓度为 20% 时有所上升,新冬 39 呈现上升趋势。3 个品种的植株绝对含水量中,新春 6 号的下降趋势最大,PEG 浓度为 10% 时植株绝对含水量下降了 68.60%,PEG 浓度为 15% 时下降了 80.06%,PEG 浓度为 20% 时下降了 80.74%;新冬 39 的下降趋势相对较缓,PEG 浓

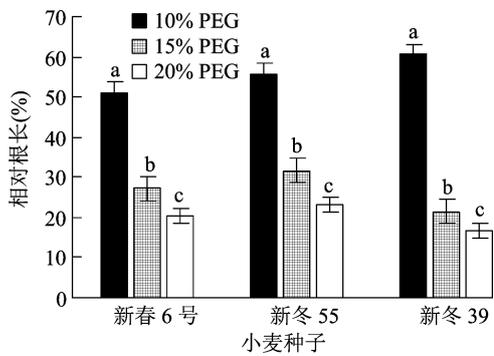


图10 不同处理各小麦品种的相对根长

度为10%时植株绝对含水量下降了62.55%,PEG浓度为15%时下降了79.06%,PEG浓度为20%时下降了85.34%。

2.5 不同处理下小麦各指标的相关性分析

由表4、表5可知,PEG浓度与活力指数、总干质量呈极显著正相关,与发芽势、发芽指数均呈显著负相关,与其余指标均呈极显著负相关;发芽势与发芽率、发芽指数和茎粗呈极显著正相关,与活力指数、苗高、根长、根系表面积均呈显著正相关,与其他指标并无显著差异;发芽率与发芽指数、苗

表3 不同处理下小麦的干鲜质量

品种	PEG浓度 (%)	总鲜质量 (g)	总干质量 (g)	植株绝对含水量 (%)	植株鲜质量含水量 (%)	相对总鲜质量 (%)	相对总干质量 (%)
新春6号	0	5.07a	0.14a	3 519.05a	97.24a		
	10	2.41b	0.20b	1 105.00b	91.70b	47.57a	142.86a
	15	1.68c	0.21b	701.59c	87.52c	33.22b	150.00b
	20	1.40c	0.18b	677.78c	87.14d	27.63c	128.57b
新冬55	0	4.62a	0.15a	3047.73a	96.82a		
	10	2.10b	0.21b	916.13b	90.16b	45.49a	140.91a
	15	1.58c	0.19b	748.21c	88.21c	34.30b	127.27b
	20	1.62c	0.23b	592.86c	85.57d	35.02c	159.09b
新冬39	0	5.33a	0.14a	3 620.93a	97.31a		
	10	2.77b	0.19b	1 356.14b	93.13b	51.88a	132.56a
	15	1.72c	0.20b	758.33c	88.35c	32.19b	139.53b
	20	1.37c	0.22b	530.77c	84.15d	25.63c	151.16b

表4 不同处理下小麦各指标间的相关性结果1

指标	相关系数						
	PEG浓度	发芽势	发芽率	发芽指数	活力指数	苗高	茎粗
PEG浓度	1.00						
发芽势	-0.33*	1.00					
发芽率	-0.46**	0.93**	1.00				
发芽指数	-0.37*	0.86**	0.87**	1.00			
活力指数	0.47**	0.36*	0.31	0.54**	1.00		
苗高	-0.87**	0.37*	0.47**	0.39*	-0.46**	1.00	
茎粗	-0.68**	0.58**	0.64**	0.53**	-0.06	0.68**	1.00
根长	-0.82**	0.37*	0.44**	0.39*	-0.43**	0.82**	0.51**
根系表面积	-0.85**	0.34*	0.42*	0.35*	-0.49**	0.93**	0.60**
根体积	-0.80**	0.29	0.36*	0.31	-0.49**	0.93**	0.59**
总鲜质量	-0.87**	0.27	0.36*	0.26	-0.58**	0.95**	0.65**
总干质量	0.61**	-0.09	-0.17	-0.09	0.45**	-0.64**	-0.26
植株绝对含水量	-0.84**	0.21	0.30	0.21	-0.56**	0.91**	0.55**
植株鲜质量含水量	-0.90**	0.30	0.39*	0.23	-0.63**	0.84**	0.59**

注:*表示相关性显著($P < 0.05$);**表示相关性极显著($P < 0.01$)。表5同。

表 5 不同处理下小麦各指标间的相关性结果 2

指标	相关系数						
	根长	根系表面积	根体积	总鲜质量	总干质量	植株绝对含水量	植株鲜质量含水量
根长	1.00						
根系表面积	0.94 **	1.00					
根体积	0.89 **	0.98 **	1.00				
总鲜质量	0.84 **	0.94 **	0.94 **	1.00			
总干质量	-0.70 **	-0.70 **	-0.66 **	-0.63 **	1.00		
植株绝对含水量	0.86 **	0.93 **	0.92 **	0.95 **	-0.78 **	1.00	
植株鲜质量含水量	0.85 **	0.86 **	0.81 **	0.89 **	-0.72 **	0.87 **	1.00

高、茎粗、根长呈极显著正相关,与根系表面积、根体积、总鲜质量、植株鲜质量含水量呈显著正相关;发芽指数与活力指数、茎粗均呈极显著正相关,与苗高、根长、根系表面积均呈显著正相关;活力指数与总干质量呈极显著正相关,与茎粗无显著相关性,与其余指标皆为极显著负相关;苗高与总干质量呈极显著负相关,与其余指标均呈极显著正相关;茎粗与总干质量无显著相关性,与其余指标均为极显著正相关;根长、根系表面积、根体积和总鲜质量均与总干质量呈极显著负相关,与其余指标均表现为极显著正相关;总干质量与植株绝对含水量、植株鲜质量含水量均呈极显著负相关;植株绝对含水量与植株鲜质量含水量呈极显著正相关。PEG 浓度与绝大多数指标均有显著相关性,说明随着 PEG 浓度的增加,小麦各项指标也会出现显著变化。

2.6 小麦抗旱性综合评价

计算 3 个小麦品种的发芽率、苗高、茎粗、根长、总鲜质量、总干质量、相对抗旱发芽率、植株绝对含水量、发芽指数等 21 个指标的隶属函数值并对其进行综合评价。从表 6 可以看出,生长情况顺序为 10% PEG - 新冬 39 > 10% PEG - 新冬 55 > 10% PEG - 新春 6 号 > 15% PEG - 新冬 55 > 15% PEG - 新冬 39 > 20% PEG - 新冬 55 > 15% PEG - 新春 6 号 > 20% PEG - 新冬 39 > 20% PEG - 新春 6 号。为能够更加全面地反映 3 种小麦在不同环境下的生长情况,将 9 种不同情形的小麦类型分为 3 个等级,以综合评价指标的均值 0.421 浮动 0.05 为准,将综合评价价值大于 0.471 的 10% PEG - 新冬 39、10% PEG - 新冬 55、10% PEG - 新春 6 号归为发育潜力良好;将综合评价价值在 0.371 ~ 0.471 范围内的 15% PEG - 新冬 55、15% PEG - 新冬 39 归为发育潜

力正常;将综合评价价值小于 0.371 的 20% PEG - 新冬 55、15% PEG - 新春 6 号、20% PEG - 新冬 39、20% PEG - 新春 6 号归为生长能力弱。

表 6 不同 PEG 浓度胁迫下 3 个小麦品种的抗旱性综合评价

品种	浓度 (%)	综合评价指标	位次
新春 6 号	10	0.66	3
	15	0.16	7
	20	0.09	9
新冬 55	10	0.80	2
	15	0.39	4
	20	0.20	6
新冬 39	10	0.96	1
	15	0.38	5
	20	0.15	8

3 讨论与结论

水分是植物生长发育的重要影响因素,作物在芽期也会受到水分的限制,水分在芽期的变动也会引起种子发芽的变化,因此,种子发芽能力的强弱常被用于衡量作物抗逆性的强弱^[15-17]。小麦的抗旱性鉴定与小麦形态、根系结构、生理生化等许多复杂指标密切相关^[18]。小麦芽期抗旱性的强弱对后期的组织建成和产量有着重要影响,并能直接影响出苗速度和幼苗质量^[19]。因此,研究不同基因型小麦品种在不同干旱胁迫下的发芽情况,对于完善小麦耐旱机制和鉴定耐旱型小麦品种有重要意义^[20]。研究发现,发芽情况、根长、苗高等与抗旱性密切相关^[21]。魏良迪等以 40 份小麦品种为试验材料,用 20% PEG - 6000 模拟干旱胁迫,测定不同品种种的指标,共筛选出 21 个抗旱性品种^[22];张恒栋等用 7 个抗旱性不同的小麦品种为材料,研究 PEG - 6000 干旱胁迫下不同指标的变化,结果共筛

选出3个抗旱性能较好的小麦品种^[23];张军等以7个小麦品种为试验材料,在20% PEG-6000干旱胁迫下,测定了不同小麦品种的发芽率、储藏物质转运率等指标,共筛选出2个强抗旱型小麦品种^[24]。

本试验通过对3个小麦品种芽期的发芽率、发芽势、发芽指数、苗高、茎粗、根长、总鲜质量、总干质量、相对抗旱发芽率、植株绝对含水量等21个指标进行抗旱性综合分析认为,在10% PEG-6000胁迫下,新冬39、新冬55、新春6号的生长状况都较好;在15% PEG胁迫下,新春6号的生长发育严重受阻,新冬55、新冬39发育依然较好,表明冬麦较春麦在芽期耐旱;在20% PEG-6000胁迫下,新冬55、新冬39、新春6号的生长发育均受到影响。试验显示,大多数指标在PEG浓度为10%~15%时波动幅度较小,在PEG浓度为15%~20%时波动幅度较大,在PEG浓度为25%的干旱模拟中活力指数过低,种子萌发困难。因此,小麦种子在使用PEG模拟干旱胁迫时,建议模拟轻度干旱胁迫时使用10% PEG-6000溶液,模拟中度干旱胁迫时使用15% PEG-6000溶液,模拟重度干旱胁迫时使用20% PEG-6000溶液。

参考文献:

- [1]江梦圆. 干旱胁迫对冬小麦生长的影响机理及模拟研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2020:2.
- [2]王雷,郭岩,杨淑华. 非生物胁迫与环境适应性育种的现状及对策[J]. 中国科学(生命科学),2021,51(10):1424-1434.
- [3]赵燕昊,曹跃芬,孙威怡,等. 小麦抗旱研究进展[J]. 植物生理学报,2016,52(12):1795-1803.
- [4]张玉静,王春乙,张继权. 华北地区冬小麦干旱危险性分析[J]. 自然灾害学报,2014,23(6):183-192.
- [5]白旭瑞. 小麦苗期抗旱性鉴定及抗旱品种筛选[D]. 保定:河北农业大学,2021:3.
- [6]陈凡,钱前,王台,等. 2017年中国植物科学若干领域重要研究进展[J]. 植物学报,2018,53(4):391-440.
- [7]杨婉君. 小麦苗期抗旱性的GWAS分析及综合评价[D]. 泰安:山东农业大学,2020:3-4.
- [8]郭志芳. 小麦苗期抗旱相关性状关联分析及种质资源筛选[J]. 广东蚕业,2022,56(1):19-21.
- [9]任毅,颜安,张芳,等. 国内外301份小麦品种(系)种子萌发期抗旱性鉴定及评价[J]. 干旱地区农业研究,2019,37(3):1-14.
- [10]Wang W, Vmocer B, Altman A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance[J]. Planta, 2003, 21(8):1-14.
- [11]谭晓荣,伏毅,戴媛. 干旱锻炼提高小麦幼苗抗旱性的抗氧化机理研究[J]. 作物杂志,2009(5):19-23.
- [12]王永刚,张胜军,刘亚丽,等. 新疆冬小麦品种资源萌发期抗旱性鉴定与筛选[J]. 新疆农业科学,2021,58(11):2024-2034.
- [13]张龔,王永刚,肖菁,等. 引进春小麦品种(系)芽期抗旱性评价[J]. 新疆农业科学,2020,57(12):2186-2196.
- [14]孙楠楠,周全,职蕾,等. 240份小麦苗期抗旱性鉴定及抗旱指标与重要农艺性状的相关性分析[J]. 西北农业学报,2022,31(2):147-156.
- [15]杨景宁,王彦荣. PEG模拟干旱胁迫对四种荒漠草原植物种子萌发的影响[J]. 草业学报,2012,21(6):23-29.
- [16]杨永志,闫海霞,赵淑文,等. PEG-6000模拟干旱胁迫对常夏石竹种子萌发的影响[J]. 种子,2020,39(2):11-14,20.
- [17]宋国英,刘国一,边巴卓玛. 模拟干旱胁迫下7个黑青稞品种的萌发特性与抗旱性评价[J]. 江苏农业科学,2021,49(16):84-88.
- [18]张维军,袁汉民,陈东升,等. 小麦抗旱性生理生化机制及QTL研究进展[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(6):139-148.
- [19]胡雯媚,李国瑞,樊高琼,等. 增强小麦种子萌发期抗旱性的植物生长调节物质的筛选与评价[J]. 麦类作物学报,2016,36(8):1093-1100.
- [20]李静静,任永哲,白露,等. PEG-6000模拟干旱胁迫下不同基因型小麦品种萌发期抗旱性的综合鉴定[J]. 河南农业大学学报,2020,54(3):368-377.
- [21]吴晓凤,倪沛,杨涛,等. 10种菊科植物的抗旱性与抗盐性评价[J]. 生态学杂志,2018,37(7):1959-1968.
- [22]魏良迪,李宁,杨进文,等. 山西省主推小麦品种芽期及苗期的抗旱性评价[J]. 生态学杂志,2022,41(5):873-879.
- [23]张恒栋,黄婷婷,杨敏,等. 小麦萌芽期模拟水分胁迫下抗旱品种筛选初报[J]. 种子,2014,33(11):99-101.
- [24]张军,陈新宏,王新军,等. PEG-6000处理下陕西栽培小麦萌发期抗旱性评价[J]. 种子,2017,36(3):77-79.