

# 种子大小对旱地小麦种子萌发、幼苗特性和抗旱性的影响

黄明<sup>1</sup> 付鑫鑫<sup>1</sup> 张振旺<sup>1,2</sup> 张军<sup>1</sup> 李友军<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>河南科技大学农学院, 471023, 河南洛阳; <sup>2</sup>中国农业大学农学院, 100083, 北京)

**摘要** 为阐明种子大小对小麦种子萌发、幼苗根系性状、叶片生理特性和抗旱性的影响, 以洛旱 6 号和洛旱 22 的大粒(>6 目筛, 粒径>3.35 mm)、中粒(6~8 目筛, 粒径 2.36~3.35 mm)和小粒(<8 目筛, 粒径<2.36 mm)种子为材料, 在室内设置干旱(20% PEG-6000 模拟 T)和正常供水对照(CK)2 个条件, 测定种子萌发特性以及处理后 3、6、9 d 的幼苗根系特性、抗氧化酶系统和渗透调节物质。结果表明, 与小粒种子相比, 干旱下洛旱 22 大粒种子发芽势和发芽率分别显著提高 7.2% 和 12.4%, 对照下洛旱 6 号分别显著提高 42.0% 和 36.7%, 但中粒种子无显著优势。与小粒种子相比, 洛旱 6 号大粒种子干旱和对照下的幼苗根系活力在处理 3、6 d 均提高, 而洛旱 22 无显著差异。随种子粒径的增加, 幼苗根长、根表面积、根体积、根尖数和分枝数均增加, 且多达显著水平; 幼苗叶片超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性、可溶性糖(SS)含量呈上升趋势, 丙二醛(MDA)和游离脯氨酸(Pro)含量呈下降趋势。与小粒种子相比, 干旱下洛旱 22 大粒种子的 SOD 活性显著提高, 洛旱 6 号的 SS 含量显著提高; 对照下洛旱 6 号的 CAT 活性显著提高, 洛旱 22 的 MDA 和 Pro 含量均显著降低。与中、小粒种子相比, 2 个小麦品种的大粒种子的综合抗旱系数均有所提高。因此, 大粒种子萌发特性、幼苗根系和叶片抗逆生理特性具有优势, 但影响效应因干旱胁迫、品种和指标而异。筛选并种植大粒种子有利于提高旱地小麦种子发芽和幼苗发育指标。

**关键词** 小麦; 种子大小; 幼苗; 根系; 生理特性; 抗旱性

小麦是全世界 1/3 人口的主粮, 也是我国三大粮食作物之一, 其产量的高低直接关系到粮食安全。我国小麦主要种植在北方旱作区, 小麦生长过程中容易遭受干旱胁迫, 如何应对干旱一直是人们关注的重点和热点<sup>[1]</sup>。种子是最基本的农业生产资料, 大面积应用良种是提高作物抗旱性的有效途径之一<sup>[2]</sup>。因此, 如何从种子角度研究小麦应对干旱的机制对提高小麦产量和保障粮食安全具有重要意义。

种子大小作为良种的一个重要特性, 直接关系着种子萌发和幼苗的生长发育<sup>[3]</sup>。大粒种子由于贮藏了较多的营养物质, 不仅在逆境环境条件下对资源的竞争能力强<sup>[3]</sup>, 而且具有较强生长势<sup>[4-5]</sup>, 特别是在种子萌发和幼苗生长过程中作用突出。研究<sup>[3-4,7]</sup>普遍表明, 种子大小与幼苗重量呈显著正相关, 而与相对生长率呈负相关。刘斌祥等<sup>[5]</sup>研究表明, 大、中粒玉米种子不仅萌芽率和出苗率高, 且活跃破土、出苗期短, 出苗整齐度较高, 利于苗全、苗齐和苗匀。陈思晓等<sup>[6]</sup>研究发现, 以千粒

重为标准将煤生 0308 和烟农 19 种子大小分为 8 个粒级, 幼苗根长、根数量、有机物含量随着粒重的增加而增加。马秀云等<sup>[7]</sup>根据千粒重将 60 个小麦品种分为 3 种不同粒重类型, 发现幼苗总根长、根鲜重均表现为大粒重>中粒重>小粒重, 且不同类型间差异均显著。刘生祥等<sup>[8]</sup>研究也表明, 种子大小与植物生长势密切相关, 大粒种子具有促进幼苗分蘖、抗逆性强、营养生长旺盛和增产的潜力。毛思帅等<sup>[9]</sup>研究表明, 与小粒小麦种子相比, 大粒小麦种子(粒径>3.35 mm)和中粒小麦种子(粒径 2.36~3.35 mm)分别增产 540 和 431 kg/hm<sup>2</sup>, 增产 5.5% 和 6.9%。这些结果表明, 种子大小可以影响作物发芽、根系和幼苗建植等特性, 进而影响产量的形成。然而, 目前有关种子大小影响小麦幼苗生理特性的研究较少, 特别是种子大小与旱地小麦抗旱性之间的关系尚未见报道。因此, 本研究以洛旱 6 号和洛旱 22 大、中、小 3 种粒级种子为材料, 通过 PEG-6000 模拟干旱和正常供水对照的室内水培试验, 研究种子大小

作者简介: 黄明, 研究方向为旱地节水农业和高产栽培理论与技术, E-mail: huangming\_2003@126.com

付鑫鑫为通信作者, 研究方向为小麦高产生理生态, E-mail: fxx17838406610@163.com

基金项目: 河南省特色骨干学科群建设项目(17100001); 国家级大学生创新训练计划项目(202210464063)

收稿日期: 2024-03-18; 修回日期: 2024-05-15; 网络出版日期: 2025-01-13

对旱地小麦种子萌发特性, 幼苗根系性状和叶片生理特性的影响, 并评价其对干旱的响应, 为旱地小麦品种的筛选和推广种植提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试品种为洛早 6 号和洛早 22, 均为河南省洛阳市农林科学院选育的旱肥地品种。其中, 洛早 6 号 (国审麦 2006020) 选自父母本组合豫麦 49 号/山农 45, 株高 80 cm, 抗旱性达 3 级, 抗旱性中等, 在 2015 年创造并保持多年 9808.5 kg/hm<sup>2</sup> (亩产 653.9 kg) 的全国旱地小麦高产纪录。洛早 22 (国审麦 20180058) 选自父母本组合周麦 16/洛早 7 号 (洛早 7 号选自父母本组合豫麦 41 号/山农 45), 株高 74.9 cm, 抗旱性达 3 级, 抗旱性中等, 与晋麦 47 相当; 2022 年创造了 9892.8 kg/hm<sup>2</sup> (亩产 659.52 kg) 的纪录。

参照毛思帅等<sup>[9]</sup>描述的方法用种子筛区分不同种子 (粒径) 大小, 分为大粒 I (>6 目筛, 粒径 >3.35 mm)、中粒 II (6~8 目筛, 粒径 2.36~3.35 mm) 和小粒 III (<8 目筛, 粒径 <2.36 mm)。

### 1.2 试验设计

1.2.1 种子萌发特性 试验于 2019 年 10~11 月在河南科技大学农学院实验室进行。将 2 个品种各粒径籽粒用 75% 酒精消毒 10 min 后用蒸馏水冲洗干净, 吸涨 24 h 后, 挑选露白的种子。将种子腹股沟向下放在铺有 2 层滤纸的发芽盒 (10 cm×10 cm×3 cm) 中, 每盒 70 粒、均匀摆放, 对应加入预设溶液 15 mL, 3 次重复。预设溶液分别为 1/2 Hoagland 营养液配制而成的 20% PEG-6000 溶液, 用于模拟干旱<sup>[10]</sup>, 用 T 表示, 不添加 PEG-6000 的 1/2 Hoagland 营养液作为对照, 用 CK 表示。随后放入 20 °C 恒温培养箱, 设置湿度 85%, 光周期昼/夜 12 h/12 h, 光强 10 000 lx。

1.2.2 幼苗根系和生理特性 种子处理同 1.2.1。吸涨 24 h 后, 挑选露白的种子, 用海绵固定到泡沫板上, 放入水培篮中 (15 cm×20 cm×15 cm) 进行培养。为模拟根系生长的黑暗环境, 水培篮四周用黑色胶带包裹。每个水培篮添加 2.0 L 的 1/2 Hoagland 营养液, 每 2 d 更换 1 次营养液。培养至 3 叶 1 心进行水分处理 (T 处理和 CK 处理), 3 次重复。整个试验过程用气泵维持溶液氧浓度

(DO) 为 6~8 mg/L。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 种子活力 根据《国家种子检验规程》, 以胚根长≥种子长或胚芽长≥0.5 倍种子长作为发芽标准, 在第 3 天测定发芽势, 在第 7 天测定发芽率<sup>[11]</sup>。

发芽势 (%) = 第 3 天发芽种子粒数/供试种子粒数×100;

发芽率 (%) = 第 7 天发芽种子粒数/供试种子粒数×100。

1.3.2 根系指标 在处理后的 3、6 和 9 d 分别从每个处理中采集幼苗根系 5 条, 用蒸馏水洗净后用吸水纸吸干, 采用氯化三苯基四氮唑还原法 (TTC 法) 测定根系活力<sup>[12]</sup>。在处理 4 和 8 d 从每个处理中分别采集小麦苗 5 株, 先用蒸馏水洗净后用滤纸将其表面水分吸干, 放在玻璃盘上用镊子小心将每条根展开, 使根与根之间不交叉、不重叠, 再用根系扫描仪 (Epson EU-88) 进行扫描, 扫描后采用 Win-RHIZO 系统分析根长、根直径、根表面积和根体积。

1.3.3 生理指标 在水分处理后的 3、6 和 9 d, 分别从每个处理中取 5 个叶片, 剪碎混匀后用于测定超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性及丙二醛 (MDA)、可溶性糖 (SS) 和游离脯氨酸 (Pro) 含量。采用氮蓝四唑 (NBT) 法测定 SOD 活性, 采用紫外线吸收法测定 CAT 活性, 采用硫代巴比妥酸法 (TBA) 测定 MDA 含量, 采用蒽酮比色法测定 SS 含量, 采用酸性茚三酮法<sup>[13]</sup>测定 Pro 含量。

1.3.4 抗旱系数 抗旱系数 (DC) = 干旱处理测定值/对照测定值<sup>[14]</sup>。

参考张军等<sup>[15]</sup>的方法, 第 3、6、9 天的权重依次为 1/6、1/3、1/2, 第 4、8 天的权重依次为 1/3、2/3, 分别计算各指标的抗旱系数, 通过各指标抗旱系数求和得到综合抗旱系数<sup>[14]</sup>, 其值越大表明该种子粒径小麦的抗旱性越好, 反之抗旱性越差。

### 1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 27 对数据进行处理。采用单因素方差分析法 (one-way ANOVA) 和最小显著差异法 (LSD) 分析不同种子大小和不同水分处理间各参数的差异。采用 Microsoft Excel 2016 作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对种子发芽势和发芽率的影响

由表 1 可知，与对照相比，T 处理使洛旱 6 号和洛旱 22 不同粒径的种子发芽势和发芽率均显著降低，洛旱 6 号的发芽率和发芽势均高于洛旱 22。随着种子粒径的增加，小麦发芽势和发芽率总体呈上升趋势，但影响效应因品种和干旱与否

而异。与小粒种子相比，大粒种子 T 处理下洛旱 22 的发芽势和发芽率分别显著提高 7.2 和 12.4 个百分点，但洛旱 6 号无显著变化；CK 处理下洛旱 6 号的发芽势和发芽率分别显著提高 41.0 和 36.7 个百分点，但洛旱 22 无显著变化。与小粒种子相比，中粒种子除洛旱 6 号的发芽势和发芽率在对照下显著提高外均无显著差异。说明大粒种子能在干旱下提高洛旱 22 的发芽势和发芽率。

表 1 种子大小对小麦发芽势和发芽率的影响  
Table 1 Effects of seed size on germination potential and germination rate of wheat %

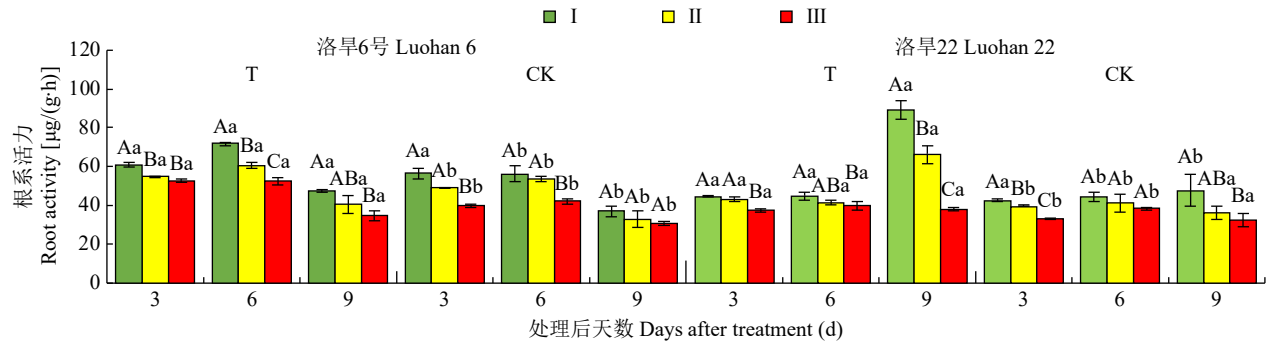
品种 Variety	种子大小 Seed size	发芽势 Germination potential		发芽率 Germination rate	
		T	CK	T	CK
洛旱 6 号 Luohan 6	I	30.00±3.78Aa	81.90±4.12Ab	58.57±5.15Aa	92.86±2.86Ab
	II	25.71±5.71Aa	74.76±7.33Ab	51.90±3.30Aa	86.67±4.36Bb
	III	23.81±1.65Aa	40.95±3.30Bb	41.90±3.60ABa	56.19±0.82Cb
洛旱 22 Luohan 22	I	38.57±2.86Aa	59.52±4.36Ab	57.14±1.43Aa	85.71±1.43Ab
	II	28.57±7.14Ba	54.29±8.92Ab	40.95±8.61Ba	80.95±6.75Ab
	III	31.40±2.86Ba	52.38±5.02Ab	44.70±7.87Ba	82.86±2.47Ab

不同大写字母表示同一测定时期同一处理下不同种子大小间差异显著；不同小写字母表示同一测定时期同一种子大小不同处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。  
Different capital letters indicate significant differences in seed sizes under the same treatment in the same measuring period, and different lowercase letters indicate significant differences between different treatments in the same measuring period ( $P<0.05$ ). The same below.

2.2 不同处理对幼苗根系特性的影响

2.2.1 对幼苗根系活力的影响 由图 1 可知，随着种子粒径的增加，小麦幼苗根系活力总体呈上升趋势。与小粒种子相比，大粒种子和中粒种子在处理不同天数下幼苗根系活力均显著增加。处理后 3、6、9 d，与小粒种子比，干旱下洛旱 6 号大粒种子显著提高 15.4%~37.4%，对照下提高

20.1%~41.2%，中粒种子干旱下提高 3.6%~22.8%，对照下提高 7.3%~27.1%；洛旱 22 大粒种子干旱下提高 12.7%~135.9%，对照下提高 15.9%~47.5%，中粒种子分别提高 4.0%~20.7%和 7.6%~74.8%，洛旱 22 的最高增幅多高于洛旱 6 号。说明大粒与中粒种子都有提高根系活力的作用，且大粒种子和洛旱 22 的优势突出。



不同大写字母表示同一测定时期同一处理下不同种子大小间差异显著；不同小写字母表示同一测定时期同一种子大小不同处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。  
Different capital letters indicate significant differences in seed sizes under the same treatment in the same measuring period; different lowercase letters indicate significant differences under different treatments under the same seed size in the same measuring period ( $P<0.05$ ). The same below.

图 1 种子大小对小麦幼苗根系活力的影响

Fig.1 Effects of seed size on root activity of wheat seedlings

2.2.2 对幼苗根系特性的影响 由表 2 可知，与对照相比，干旱使冬小麦幼苗根长、根表面积、根直径、根体积、根尖数和根分枝数均显著降低。

随着种子粒径的增加，上述指标均呈增加趋势，且除根直径外，大、中、小粒种子间各根系参数的差异均达到显著水平。说明 2 个品种的大粒种

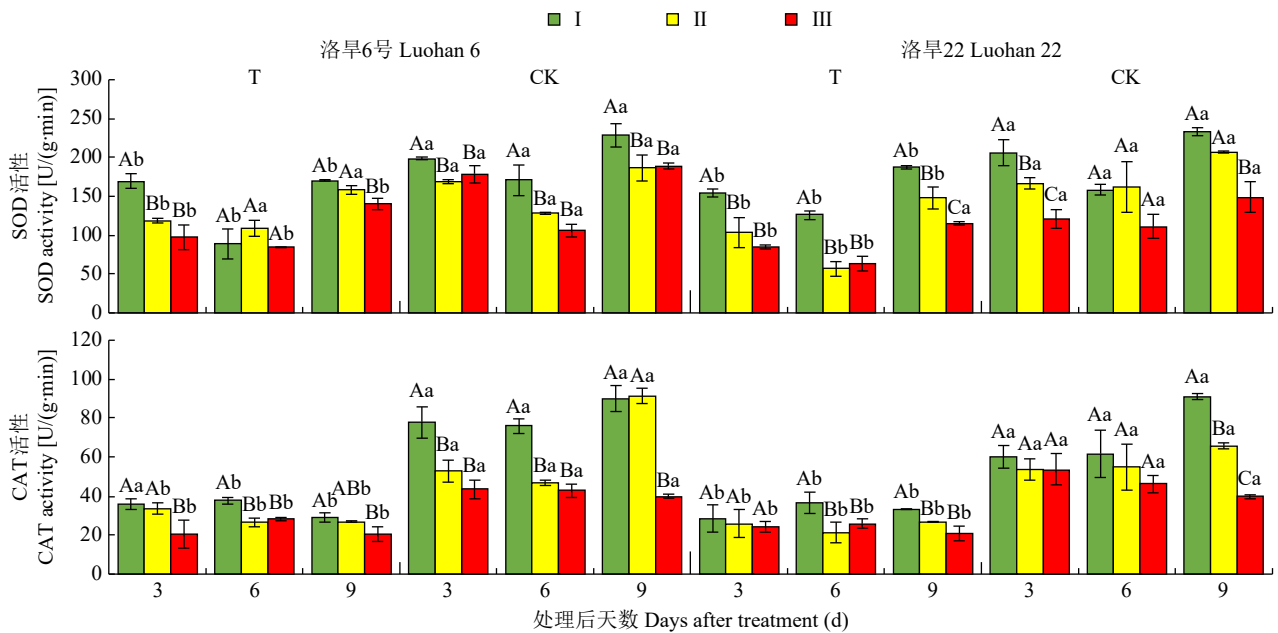
子与中粒种子可改善幼苗的根系构型，且大粒种子优势更为显著。

表 2 种子大小对小麦幼苗根系特性的影响  
Table 2 Effect of seed size on root traits of wheat seedling

指标 Index	处理 Treatment	天数 Days (d)	洛旱 6 号 Luohan 6			洛旱 22 Luohan 22		
			I	II	III	I	II	III
总根长 Total root length (cm)	T	4	335.6±4.2Ab	208.3±9.4Bb	152.4±13.6Cb	289.5±20.4Ab	190.8±12.7Bb	128.0±16.4Cb
		8	454.2±16.3Ab	347.0±21.2Bb	201.7±5.7Cb	417.6±13.0Ab	299.6±22.6Bb	212.6±5.7Ca
	CK	4	557.4±8.4Aa	406.9±4.9Ba	314.2±12.6Ca	457.5±26.4Aa	370.3±15.1Ba	257.5±6.0Ca
		8	759.4±15.0Aa	573.8±47.0Ba	392.8±11.0Ca	558.8±23.7Aa	462.2±18.5Ba	291.5±47.3Ca
总根表面积 Total root surface area (cm <sup>2</sup> )	T	4	27.3±1.6Ab	17.7±0.8Bb	13.8±0.2Cb	28.6±2.3Ab	16.7±0.6Bb	10.2±1.3Cb
		8	40.2±1.1Ab	34.4±3.3Bb	20.4±0.3Cb	39.9±4.1Aa	28.6±3.0Ba	21.1±1.0Ca
	CK	4	40.8±2.3Aa	30.1±0.9Ba	24.4±2.6Ca	33.9±0.6Aa	28.0±0.7Ba	20.7±1.7Ca
		8	56.0±5.1Aa	45.0±4.2Ba	30.2±1.8Ca	47.8±3.1Aa	35.7±4.4Ba	23.3±5.1Ca
根直径 Root diameter (mm)	T	4	0.32±0.03Aa	0.30±0.03Aa	0.28±0.01Aa	0.28±0.02Aa	0.29±0.02Aa	0.25±0.02Aa
		8	0.33±0.00Aa	0.30±0.01Ba	0.27±0.01Ca	0.33±0.02Aa	0.28±0.01Ba	0.32±0.02Aa
	CK	4	0.25±0.01Ab	0.23±0.01Ab	0.23±0.01Ab	0.26±0.00Aa	0.26±0.01Aa	0.23±0.01Ba
		8	0.23±0.02Ab	0.25±0.01Ab	0.23±0.00Ab	0.26±0.01Ab	0.26±0.01Aa	0.23±0.01Bb
总根体积 Total root volume (cm <sup>3</sup> )	T	4	0.18±0.03Aa	0.13±0.02Ab	0.13±0.03Aa	0.20±0.03Aa	0.14±0.03Aa	0.07±0.01Bb
		8	0.29±0.00Ab	0.25±0.01Ba	0.16±0.01Ca	0.33±0.03Aa	0.20±0.02Ba	0.17±0.02Ba
	CK	4	0.24±0.02Aa	0.17±0.01Ba	0.15±0.03Ba	0.20±0.02Aa	0.15±0.02Ba	0.15±0.02Ba
		8	0.36±0.02Aa	0.28±0.03Ba	0.19±0.02Ca	0.32±0.03Aa	0.23±0.03Ba	0.15±0.03Ca
总根尖数 Total root tips	T	4	460.3±44.1Ab	385.7±8.7ABb	318.3±50.7Ba	445.0±77.5Ab	292.7±38.0Bb	230.3±30.2Bb
		8	1076.0±9.4Ab	703.3±163.6Ba	473.0±137.3Ba	1009.0±20.2Ab	592.3±215.5Ba	349.7±36.7Bb
	CK	4	919.7±38.6Aa	728.3±26.6Ba	431.3±53.1Ca	725.3±56.6Aa	611.7±26.2Aa	460.3±58.0Ba
		8	1562.7±87.2Aa	978.0±88.8Ba	766.3±110.6Ba	1471.0±84.1Aa	950.3±155.3Ba	674.0±21.7Ca
根分枝数 Number of root branches	T	4	909.3±71.3Ab	564.7±65.2Bb	402.0±136.1Ba	656.3±32.2Ab	467.3±73.7Bb	399.0±55.1Ba
		8	1849.3±49.8Aa	1151.3±90.4Bb	510.3±43.7Cb	1388.3±128.4Ab	1172.7±105.8Aa	659.7±115.6Ba
	CK	4	1469.0±126.9Aa	1010.3±7.6Ba	606.3±62.5Ca	1150.0±122.5Aa	805.0±66.6Ba	490.7±57.2Ca
		8	2639.0±525.2Aa	1915.0±316.1ABa	1154.7±64.4Ba	1835.0±37.5Aa	1485.7±247.2Aa	829.3±110.8Ba

2.3 种子大小对幼苗抗氧化特性的影响

的幼苗叶片 SOD、CAT 活性均显著降低，MDA 含量显著升高。随着种子粒径的增加，幼苗叶片



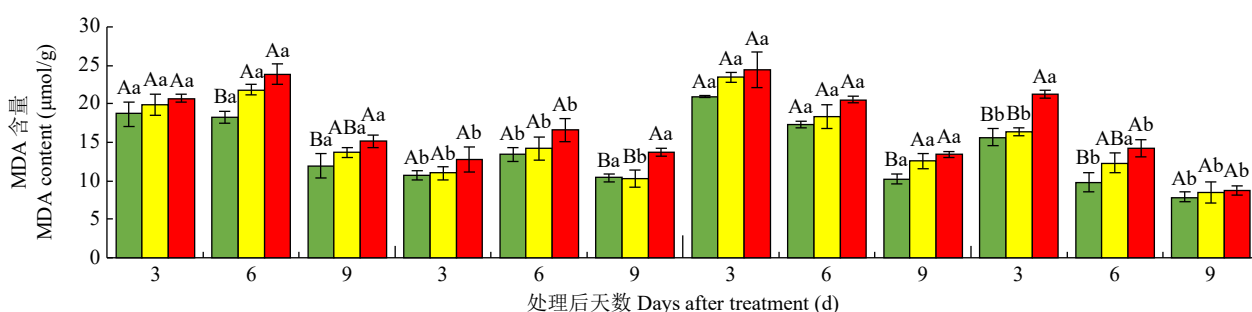


图 2 种子大小对小麦幼苗叶片 SOD、CAT 活性和 MDA 含量的影响  
Fig.2 Effects of seed size on SOD, CAT activities and MDA contents in wheat seedling leaves

SOD、CAT 活性上升，但影响效应与品种和干旱与否有关。与小粒种子相比，大粒种子幼苗叶片 SOD 活性对照下洛旱 6 号在处理 3、6 和 9 d 分别显著提高 11.0%、60.7% 和 21.1%，而干旱下洛旱 22 分别显著提高 81.1%、99.2%、63.0%；不同水分条件和品种下幼苗叶片 CAT 活性均表现为显著提高，幼苗叶片 MDA 含量均降低。中粒种子与小粒种子相比，幼苗 SOD 和 CAT 活性大部分无显著增加，幼苗 MDA 含量除对照下洛旱 6 号处理后 9 d、洛旱 22 处理后 3 d 显著降低外也无显著变化。说明大粒种子会提高幼苗 SOD 和 CAT 活性，抗逆能力强，降低 MDA 含量，降低膜脂过氧化程度，且洛旱 22 SOD 活性的提高幅度大于洛旱 6 号，但中粒种子的效果并不突出。

## 2.4 种子大小对幼苗渗透调节物质含量的影响

由图 3 可知，与对照相比，干旱胁迫下 2 个

品种各粒径种子的幼苗 SS 含量降低，但 Pro 含量升高。与小粒种子相比，干旱和对照处理洛旱 6 号大粒种子幼苗的 SS 含量分别显著提高 38.0%~58.0% 和 37.9%~53.2%，洛旱 22 分别显著提高 27.7%~34.0% 和 30.7%~71.1%。与小粒种子相比，中粒种子幼苗 SS 含量仅对照下洛旱 6 号处理后 3 d 和洛旱 22 处理后 9 d 时表现为显著提高。由图 3 还可以看出，洛旱 6 号的幼苗 Pro 含量多高于洛旱 22。与小粒种子相比，大粒种子在干旱和对照处理下洛旱 6 号幼苗 Pro 含量分别降低 13.8%~49.9% 和 30.3%~49.9%，洛旱 22 分别显著降低 30.9%~53.5% 和 40.4%~73.6%。与小粒种子相比，中粒种子幼苗 Pro 含量洛旱 6 号降低不显著，但洛旱 22 干旱下处理后 3、6 d 和对照下处理后 6 d 分别降低 31.0%、31.2% 和 64.4%。说明大粒种子会提高幼苗 SS 含量，降低 Pro 含量，且洛旱 22 的

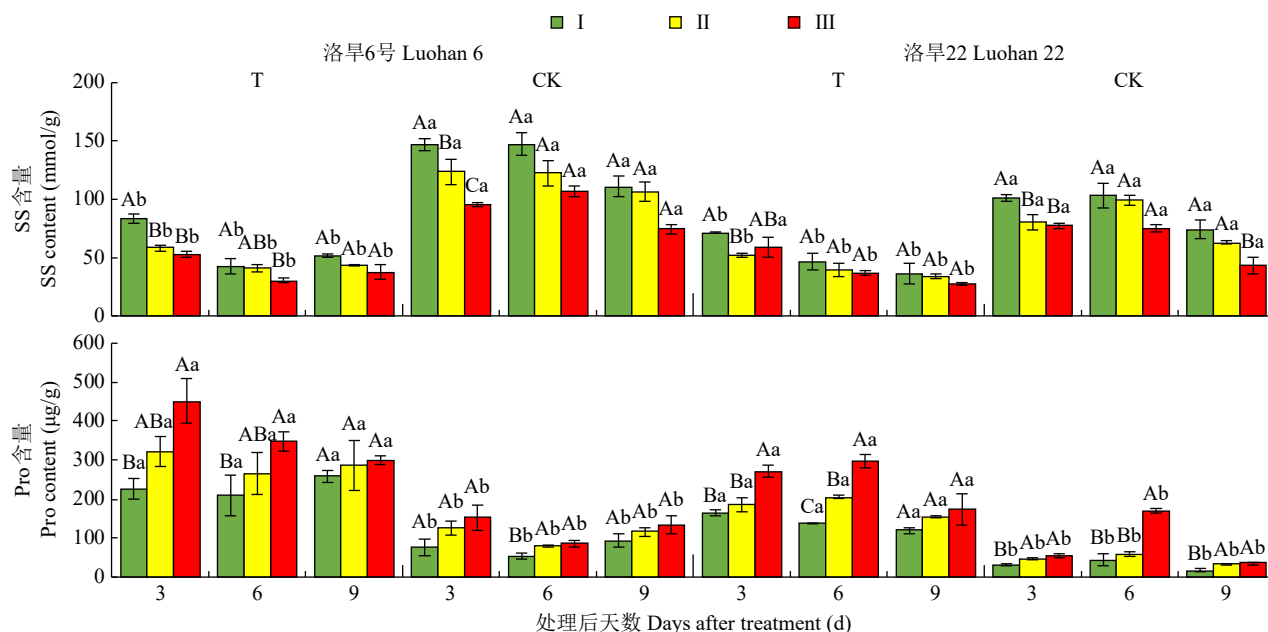


图 3 种子大小对小麦幼苗叶片 SS 和 Pro 含量的影响  
Fig.3 Effects of seed sizes on SS and Pro contents in wheat seedling leaves

中粒种子也有降低幼苗 Pro 含量的作用。

2.5 种子大小对小麦萌发期和幼苗期抗旱性的影响

表 3 结果表明，同一品种不同种子粒径间、不同指标间的抗旱系数和综合抗旱系数存在差异，不同指标间的抗旱系数介于 0.13~5.27，总根体积抗旱系数最小，Pro 含量抗旱系数最大，说明种子萌发以及幼苗根系和叶片特性对干旱胁迫的响应程度不同。大粒种子较小粒种子综合抗旱系数增大，说明冬小麦抗旱性随种子粒径的增加而增强，其中根体积的抗旱系数差异最大，与小粒种子相比，大粒种子洛旱 6 号和洛旱 22 分别提高 64.8%和 113.0%。此外，洛旱 6 号的根平均直径、根体积、根分枝数的抗旱系数，洛旱 22 的 Pro 含量、根系活力、发芽率、根体积和根尖数的抗旱系数提高，增幅均在 20%以上。洛旱 22 综合抗旱系数大粒种子比中、小粒种子分别提高 18.7%和 17.7%，但洛旱 6 号差异不明显。

表 3 种子大小对小麦萌发期和幼苗期抗旱系数和综合抗旱系数的影响  
Table 3 Effects of seed size on drought resistance coefficient and comprehensive drought resistance coefficient in wheat during the germination and seedling stages

指标 Index	洛旱 6 号 Luohan 6			洛旱 22 Luohan 22		
	I	II	III	I	II	III
发芽率 Germination rate	0.63	0.60	0.75	0.67	0.51	0.54
发芽势 Germination energy	0.37	0.34	0.58	0.65	0.53	0.60
根系活力 Root activity	1.25	1.18	1.20	1.45	1.43	1.12
总根长度 Total root length	0.60	0.57	0.50	0.71	0.60	0.65
总根表面积 Total root surface area	0.74	0.68	0.63	0.88	0.61	0.78
根直径 Root diameter	0.33	0.30	0.27	0.31	0.28	0.30
总根体积 Total root volume	0.25	0.21	0.15	0.28	0.18	0.13
总根尖数 Total root tips	0.63	0.66	0.66	0.66	0.58	0.51
根分枝数 Number of root branches	0.67	0.59	0.52	0.69	0.72	0.80
SOD 活性 SOD activity	0.69	0.83	0.73	0.79	0.58	0.69
CAT 活性 CAT activity	0.40	0.44	0.55	0.46	0.41	0.52
MDA 含量 MDA content	1.31	1.48	1.30	1.46	1.46	1.44
SS 含量 SS content	0.44	0.38	0.44	0.52	0.52	0.61
Pro 含量 Pro content	3.20	2.77	2.97	5.27	4.07	3.88
综合抗旱系数 Comprehensive drought resistance coefficient	11.51	11.02	11.24	14.80	12.47	12.57

3 讨论

3.1 种子大小对小麦种子活力和根系、幼苗生长的影响

种子是植物早期生长发育所需养分的主要来

源，其大小会对种子萌发、根系发育和幼苗生长产生影响<sup>[16]</sup>。吴薇<sup>[17]</sup>研究发现，发芽率表现为中粒>大粒>小粒，发芽指数表现为中粒>小粒>大粒。周芳等<sup>[18]</sup>研究表明，大粒种子因贮藏营养物质多，幼苗生长旺、根系发达，这种优势随生育进程推进有减弱趋势，在较长的生育期内其根长、根表面积、根体积等均高于小粒种子。有研究<sup>[19-20]</sup>发现，大粒种子有利于作物生育前期的根系发育和生物量积累，促进幼苗建植，增强作物在生育中后期吸收利用水分和养分的能力。本研究发现，大粒和中粒种子可保持较大的根长、根表面积、根体积、根尖数和根分枝数，苗期苗壮，且大粒种子优势突出，可大幅改善种子萌发特性，这与前人研究结果一致。结果说明旱地小麦大粒种子利于种子萌发并改善根系幼苗特性。应大力推进旱地小麦种子粒径筛选，促进干旱胁迫下种子萌发、根系发育和幼苗建植，为后期的生长发育和高产奠定基础。

3.2 种子大小对小麦幼苗生理特性的影响

在干旱胁迫下，植物可通过提高抗氧化酶活性维持活性氧代谢平衡，以保护膜结构和功能的完整性<sup>[21-22]</sup>。MDA 含量是用来反映膜脂质过氧化程度强弱的重要指标，其含量越高，说明组织的保护能力越弱<sup>[23]</sup>。本试验结果表明，干旱胁迫使幼苗根系和叶片的 MDA 含量明显增加，表现出了不同程度的膜脂过氧化。干旱下大粒种子的幼苗具有较高的 SOD 和 CAT 活性，MDA 含量最低，表现出较强的清除体内活性氧能力，从而减小干旱胁迫伤害，维持正常的生长发育，且干旱下洛旱 22 的 SOD 活性提高幅度明显大于洛旱 6 号，表现出较强的清除自由基的能力。可溶性糖和脯氨酸是评价作物抗性的重要参数<sup>[24]</sup>。可溶性糖可保护蛋白质，对维持细胞膨压以及促进植物体内活性氧清除有重要作用，可提高植物在逆境胁迫下的耐性；脯氨酸是植物体内分布最广的渗透调节物质，一般而言，植物受旱会导致脯氨酸积累<sup>[25]</sup>。本试验结果表明，在干旱和对照下，大粒种子幼苗的 SS 含量均高于中、小粒种子，且降低了 Pro 含量，表现出了较强的渗透调节能力，洛旱 22 中粒种子较小粒种子也有效降低了幼苗 Pro 含量，表现出较强的抗旱能力。洛旱 22 幼苗叶片 SOD 活性和 Pro 含量上的优势，可能与其是洛旱 6 号

的姐妹系洛早 7 与丰产品种周麦 16 杂交所得，其抗旱性得到了进一步改良，但其机理还有待进一步研究。

### 3.3 种子大小对小麦抗旱性的影响

提高作物在干旱胁迫下的发芽、出苗和幼苗建植能力，是保证旱地作物群体的重要内容，这与种子的抗旱性有关。王威等<sup>[26]</sup>研究表明，大粒种子具有较强的抗旱性，植株内源保护酶 SOD、CAT 和 POD 活性增强。Lebrija-Trejos 等<sup>[27]</sup>研究表明，大粒种子幼苗具有强的生长势、逆境耐受能力。闫兴富等<sup>[28]</sup>研究表明，大粒种子在生理活性方面具有优势，表现出更强的干旱耐受性。这些结果说明种子大小与作物的抗旱性有关，但目前没有从种子大小角度综合评价小麦抗旱性的研究。本研究分析不同种子大小萌发特性和根系幼苗生理特性抗旱性发现，与小粒种子相比，大粒种子根系特性的抗旱系数有明显规律，但有明显效应的指标因品种而异，洛早 6 号为根平均直径、根体积和根分枝数，洛早 22 为根系活力、发芽率、根体积和根尖数。此外，洛早 22 还可以大幅提高幼苗叶片 Pro 的抗旱系数。分析综合抗旱系数表明，大粒种子具有较高综合抗旱系数，表现出了较强的抗旱性，特别是洛早 22 的大粒种子较中、小粒种子的抗旱系数分别提高 18.7%和 17.7%，在旱作小麦条件下，洛早 22 品种更应注重应用大粒种子。

## 4 结论

与小粒种子相比，大粒种子干旱下洛早 22、对照下洛早 6 号利于提高发芽势和发芽率，但幼苗根系活力多无显著差异。随种子粒径的增加，幼苗根系特性得到显著改善，幼苗叶片 SOD 和 CAT 活性、SS 含量提高，且 MDA 和 Pro 含量下降，因而明显提高了综合抗旱系数。与洛早 6 号相比，洛早 22 表现出一定的抗旱优势。因此，大粒种子利于改善旱地小麦发芽特性、幼苗根系和叶片抗旱生理特性，应在旱地小麦生产中加强应用。

### 参考文献

- [1] Lobell B D, Schlenker W, Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 2011, 333(6042): 616-620.
- [2] 王德铭. 作物良种在农业生产中的地位 and 作用. *中国农业信息*, 2015, 178(13): 36.
- [3] 张世挺, 杜国祯, 陈家宽, 等. 不同营养条件下 24 种高寒草甸菊科植物种子重量对幼苗生长的影响. *生态学报*, 2003, 23(9):

1737-1744.

- [4] Swanborough P, Westoby M. Seedling relative growth rate and its components in relation to seed size: phylogenetically independent contrasts. *Functional Ecology*, 1996, 10(2): 176-184.
- [5] 刘斌祥, 程秋博, 周芳, 等. 种子大小与播种深度对玉米出苗、苗期光合特性与保护酶活性的影响. *华北农学报*, 2020, 35(2): 98-106.
- [6] 陈思晓, 贾俊娟, 傅兆麟, 等. 小麦品种内种子大小分级与种子质量的关系. *浙江农业科学*, 2020, 61(4): 624-629.
- [7] 马秀云, 赵鹏, 程明珠, 等. 小麦粒重与幼苗根系生长发育的关系. *麦类作物学报*, 2023, 43(5), 632-639.
- [8] 刘生祥, 宋晓华. 春小麦种子大小对主要性状及产量的影响. *种子*, 2003(1): 29-30.
- [9] 毛思帅, 周吉红, 王俊英, 等. 冬小麦种子大小对群体指标和产量的影响. *作物杂志*, 2015(3): 161-163.
- [10] 崔俊美, 张朝明, 张怀渝, 等. 7 个小麦品种的抗旱性比较. *麦类作物学报*, 2015, 35(11): 1542-1550.
- [11] 王志伟, 王志龙, 乔祥梅, 等. 云南小麦品种(系)萌发期抗旱性评价. *作物研究*, 2022, 36(4): 300-306.
- [12] Zhang X, Huang G, Bian X, et al. Effects of root interaction and nitrogen fertilization on the chlorophyll content, root activity, photosynthetic characteristics of intercropped soybean and microbial quantity in the rhizosphere. *Plant Soil Environment*, 2013, 59(2): 80-88.
- [13] 李小芳, 张志良. 植物生理学实验指导: 第五版. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [14] 赵平, 韩杰, 张从宇, 等. 不同基因型小麦对干旱胁迫响应的差异研究. *种子*, 2011, 30(2): 25-29.
- [15] 张军, 鲁敏, 孙树贵, 等. 拔节期低温胁迫对小麦生理生化特性和产量的影响. *西北农业学报*, 2014, 23(2): 73-79.
- [16] 王方琳, 柴成武, 尉秋实, 等. 沙埋和种子大小对沙蒿种子萌发及幼苗生长的影响. *西北林学院学报*, 2020, 35(6): 129-134.
- [17] 吴薇. 不同粒重春小麦种子活力差异的研究. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.
- [18] 周芳, 程秋博, 金容, 等. 种子大小与播种深度对川中丘陵区玉米根系生长的影响. *中国生态农业学报*, 2019, 27(12): 1799-1811.
- [19] Kennedy P G, Hausmann N J, Wenk E H, et al. The importance of seed reserves for seedling performance: an integrated approach using morphological, physiological, and stable isotope techniques. *Oecologia*, 2004, 141(4): 547-554.
- [20] 刘艳江, 何选泽, 叶红环, 等. 合江方竹种子大小变异对萌发及幼苗生长的影响. *种子*, 2022, 41(4): 111-115, 149.
- [21] 何建社, 张利, 刘千里, 等. 岷江干旱河谷区典型灌木对干旱胁迫的生理生化响应. *生态学报*, 2018, 38(7): 2362-2371.
- [22] Sun W H, Wu Y Y, Wen X Y, et al. Different mechanisms of photosynthetic response to drought stress in tomato and violet ophragmus. *Photsynthetica*, 2016, 54(2): 226-233.
- [23] 许彩丽, 周易胤森, 谢乔颖, 等. 干旱胁迫对箭叶淫羊藿生理生化的影响. *湖南林业科技*, 2020, 47(5): 20-24, 41.
- [24] Abraham B. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. *Plant, Cell & Environment*, 2017, 40(1): 4-10.
- [25] 常云霞, 李姿琳, 李芙蓉. IAA 对 Cd<sup>2+</sup>胁迫下拟南芥渗透调节物质及抗氧化特性的影响. *周口师范学院学报*, 2018, 35(5): 79-82, 133.
- [26] 王威, 胡海银. 玉米籽粒大小与其植株内源保护酶活性及单株种子产量的关系. *甘肃农业大学学报*, 2013, 48(4): 44-48.
- [27] Lebrija-Trejos E, Reich P B, Hernández A, et al. Species with



greater seed mass are more tolerant of conspecific neighbours: a key driver of early survival and future abundances in a tropical forest. *Ecology Letters*, 2016, 19(9): 1071-1080.

[28] 闫兴富, 邓晓娟, 王静, 等. 种子大小和干旱胁迫对辽东栎幼苗生长和生理特性的影响. *应用生态学报*, 2020, 31(10): 3331-3339.

## Effects of Seed Sizes on Seed Germination, Seedling Characteristics and Drought Resistance of Dryland Wheat

Huang Ming<sup>1</sup>, Fu Xinxin<sup>1</sup>, Zhang Zhenwang<sup>1,2</sup>, Zhang Jun<sup>1</sup>, Li Youjun<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, Henan, China;

<sup>2</sup>College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** In order to investigate the effects of seed sizes on seed germination, seedling root traits and leaf physiological characteristics and drought resistance of wheat, a hydroponic experiment was conducted. Large grain (> 6-mesh sieve, particle size > 3.35 mm), medium grain (6-8-mesh sieve, particle size 2.36-3.35 mm) and small grain (< 8-mesh sieve, grain size < 2.36 mm) of Luohan 6 and Luohan 22 were selected and used as materials. Two water levels of 20% PEG-6000 simulated drought for T treatment and normal water supply for CK were conducted under hydroponic condition. The characteristics of seed germination, and the root characteristics, antioxidant enzyme system and osmotic regulation substances in seedlings at 3, 6, and 9 days after treatments were determined. The results showed that the germination potential and germination rate of large seeds were significantly increased by 7.2% and 12.4% for Luohan 22 under T treatment, and 42.0% and 36.7% for Luohan 6 under CK, but there was no significant advantage in medium seeds compared with small seeds. Compared with small seeds, the root activity of large seeds of Luohan 6 under drought and control all increased at three and six days after treatment, but there was no significant difference in Luohan 22. With the increase of seed size, the root length, root surface area, root volume, the number of root tips and branches increased significantly; and the activities of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) and the content of soluble sugar (SS) in seedling leaves showed an increasing trend, while the content of malondialdehyde (MDA) and free proline (Pro), showed a decreasing trend. Compared with small seeds, the SOD activity of large seeds under T treatment was significantly increased, the CAT activity under CK and the content of SS under T treatment was increased in Luohan 6, and the MDA and Pro contents of Luohan 22 under CK were all decreased; Compared with medium and small seeds, the comprehensive drought resistance coefficients of the two wheat varieties were all increased. Overall, large seeds have major advantages in terms of germination, seedling roots, and stress resistance; however, the impacts differed based on drought stress, variety, and measurement indexes. Screening and planting large-size seeds is beneficial for improving the germination of dryland wheat seeds and the indexes of seedling development.

**Key words** Wheat; Seed size; Seedling; Root; Physiological characteristic; Drought resistance