



## 不同容重大豆品种对人工老化胁迫的反应机制研究

刘文博, 陈丽茹, 王睿鹏, 张 婧, 姚兴东, 谢甫缙, 关 欣

(沈阳农业大学 大豆研究所, 辽宁 沈阳 110866)

**摘 要:**为探讨经过人工老化处理对不同容重大豆品种种子发芽和种子内抗氧化酶的影响, 为大豆种子合理储存提供理论依据。以容重不同的 32 个大豆品种为试材, 经过 3 种人工老化处理(高温高湿、低温和渗透胁迫)后, 测定了这 32 个大豆品种的种子活力、种子细胞膜透性、脂质过氧化和抗氧化酶活性, 从而分析不同容重品种对人工种子老化处理的响应机制。结果表明: 未经人工处理时, 容重大的品种, 发芽指数高、种子活力大。经过人工处理后, 容重大的品种, 发芽指数下降幅度小, 同时种子浸出液的外渗可溶性糖和丙二醛(MDA)含量上升幅度也小。3 种人工老化处理会使大豆种子中 SOD 活性增加、POD 活性减弱。容重越大的品种, SOD 活性越高, 但 3 种人工老化处理对 CAT 活性的影响则不同。说明不同容重大豆品种的种子其抗老化和逆境的能力不同, 大豆种子的容重对种子活力、萌发机制和生理生化质变有直接的影响。

**关键词:**容重; 大豆种子; 发芽; 人工老化

## Study on Response Mechanism of Soybean Cultivars with Different Bulk Densities to Artificial Aging Stress

LIU Wen-bo, CHEN Li-ru, WANG Rui-peng, ZHANG Jing, YAO Xing-dong, XIE Fu-ti, GUAN Xin

(Soybean Research Institute, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** In order to investigate the effect of artificial aging treatment on seed germination and antioxidant enzymes in soybean varieties with different bulk density, the theoretical basis for rational storage of soybean seeds was provided. With 32 soybean varieties with different bulk densities as test materials, through three kinds of artificial aging treatment (high temperature and high humidity, low temperature and osmotic stress), the seed activity, cell membrane permeability, lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity of the 32 soybean varieties were measured and the response mechanism of different bulk density cultivars to artificial seed aging treatment was analyzed. The results show that, without manual treatment, the varieties with large capacity had high germination index and seed vigor, after artificial treatment, the germination index of the varieties with large capacity decreased slightly, and the content of exosmosis soluble sugar and malondialdehyde (MDA) in the seed leach solution also increased slightly. Three kinds of artificial aging treatment increased SOD activity and decreased POD activity in soybean seeds. The activities of SOD were higher in the varieties with larger bulk density, but the effects of three artificial aging treatments on the activities of CAT were different. The ability of anti-aging and anti-adversity of soybean seeds with different bulk density were different, and the bulk density of soybean seed had direct influence on seed vigor, germination mechanism and physiological and biochemical changes.

**Keywords:** Bulk density; Soybean seeds; Germination; Artificial aging

种子劣变或老化是一种随着储藏时间的增加, 种子活力发生的不可逆下降过程。种子劣变或老化会对种子造成一系列影响, 尤其对于活力的影响最为明显<sup>[1]</sup>。通过研究种子老化及劣变的机理<sup>[2-3]</sup>, 发现种子老化和劣变的原因有很多, 尤其是在生产实际过程中, 通常是多种因素共同引起的。高温高湿会造成我国南方大豆的种子品质下

降<sup>[4-5]</sup>, 干旱是影响作物生产的重要因素<sup>[6]</sup>, 低温冷害会影响大豆生长发育, 尤其是在生长发育初期。这 3 种胁迫均会造成大豆产量的下降, 从而影响大豆的生产。尤其在东北, 干旱和低温冷害会对大豆的生产造成极大的影响<sup>[7]</sup>。根据这 3 种胁迫, 产生了 3 种人工老化方法: 模拟高温高湿、模拟干旱胁迫和模拟低温。范玲娟<sup>[1]</sup>用模拟高温(40 ℃)高湿

收稿日期: 2020-10-03

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0101306-04)。

第一作者: 刘文博(1993—), 男, 在读博士, 主要从事大豆栽培生理研究。E-mail: lwbsynydx@163.com。

通讯作者: 关欣(1973—), 女, 博士, 副教授, 主要从事大豆种子活力及高产生理研究。E-mail: 2232316899@qq.com。

(100% RH)法来加速种子老化,观察出大豆种子耐高温高湿的特性;高小宽等<sup>[8]</sup>用较高浓度的 PEG (10%)处理种子,从而模拟干旱对不同大豆品种的影响;郑文寅等<sup>[9]</sup>研究表明 10 ℃低温胁迫对大豆种子的发芽率、发芽指数、苗长、苗鲜重和苗干重等有显著抑制的影响,可以用 10 ℃低温胁迫试验反应大豆种子的耐低温水平。

单位容积内籽粒的质量被称为容重,通常来说,籽粒小的种子容重大,而且活力高,不易发生劣变。植物在遇到逆境条件时会产生出一种保护机制,体内的抗氧化酶也会产生反应,来降低伤害<sup>[10]</sup>。有关大豆种子的物理特性与种子活力关系的研究已有报道,但是有关容重大豆种子活力和种子萌发机制的影响鲜有报道,尤其缺乏不同人工老化处理下容重大豆种子活力和种子萌发机制的研究报道。本研究采用 32 个不同容重的大豆品种,分析不同容重大豆品种种子萌发及人工老化处理对种子萌发和种子活力的影响,为保证大豆种子质量以及种子的储藏效果提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究选用 317 个大豆品种,并进行容重筛选试验,筛选出容重最大、中等和最小的 32 个大豆品种,分别为 11 个大容量重的品种、10 个中容重的品种以及 11 个小容重的品种。

1.2 试验设计

试验于 2016 年在沈阳农业大学种子活力测定实验室进行。对 32 个不同容重大豆品种的种子进行人工选种,剔除瘪粒等不良种子,选留均匀一致的种子。对照为标准发芽试验。设 3 个人工老化处理:(1)高温(40 ℃)高湿(100% RH)处理:将恒温箱调至约 40 ± 1 ℃,放入盛有水的白瓷盆,等水分平衡后,放入种子,处理 72 h 后,测定发芽指标<sup>[11]</sup>。(2)10% PEG-6000 渗透胁迫处理:使用 PEG-6000 浸泡种子,避光置于室温下,处理浓度为 10%,处理 12 h,冲洗后进行发芽指标测定<sup>[8]</sup>。(3)低温(10 ℃)处理:将种子播于装有沙子,且 70% 持水量的土壤盒中,在 10 ℃低温下处理 7 d 后进行发芽指标测定<sup>[9]</sup>。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 种子发芽生理指标 将大豆种子在 25 ℃条件下智能人工气候箱中的滤纸上进行发芽试验。

50 粒种子为 1 组,3 次重复。以根生长完全为发芽,每天记载发芽数,以第 4 天的发芽数计算发芽势,以第 7 天的发芽数计算发芽率,发芽指数按  $GI = \sum (Gt/Dt)$  计算, $Gt$  为第  $t$  天的发芽数, $Dt$  为相应的发芽天数<sup>[12]</sup>。

1.3.2 大豆种子容重 量取一定体积( $v$ )的大豆种子(1 L 左右),通过在容重仪中的组装,使其自然滑落到另一个容器筒中,然后称取这些大豆种子的重量( $m$ ),每个大豆品种样品重复测定 3 次,计算其平均值,大豆种子的容重通过公式  $\rho = \frac{m}{v}$  计算。以容重为指标,进行标准化转化,采用最长距离法,根据欧式距离对试验品种作聚类分析,将其分为大容量重、中容重和小容重 3 类。

1.3.3 种子可溶性糖含量 称取 50 mg 样品,加入 4 mL 80% 无水乙醇,80 ℃水浴 40 min,离心 30 min (3 000 r·min<sup>-1</sup>),取上清液,其残渣再加 4 mL 80% 无水乙醇,80 ℃水浴 40 min,离心 30 min (3 000 r·min<sup>-1</sup>),合并两次上清液,并定容到 10 mL。取无水乙醇提取液 1 mL,加入蒽酮试剂 5 mL,在 90 ℃保温 15 min,在波长 620 nm 处测定<sup>[13]</sup>。

1.3.4 种子丙二醛(MDA)含量 参照李合生<sup>[14]</sup>的方法测定大豆种子中 MDA 的含量。

1.3.5 酶活性 参照李忠光等<sup>[15]</sup>的方法测定大豆种子中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性。

1.4 数据分析

采用 Excel 2010 处理数据,使用 DPS v7.05 软件进行方差分析,文中数据表示为平均值 ± 标准差( $\bar{x} \pm SD$ )。

2 结果与分析

2.1 不同品种的容重类型

由表 1 可知,供试的 32 个品种的容重的范围为 673 ~ 722 g·L<sup>-1</sup>。将其分为 3 类:(1)大容量重:包括 11 个品种,容重均 ≥ 710 g·L<sup>-1</sup>。(2)中容重:包括 10 个品种,容重为 700 ~ 709 g·L<sup>-1</sup>。(3)小容重:包括 11 个品种,容重 < 700 g·L<sup>-1</sup>。其中大容量重、中容重和小容重 3 类大豆种子中容重最大的分别是 SN92-3、I062-4 和东豆 028,容重分别比其平均值高 1.0%、0.7% 和 1.0%;容重最小的分别是沈农 12、I062-15 和开 8157,容重分别比其平均值低 0.7%、0.6% 和 2.7%。

表 1 供试大豆品种容重及其类型划分

Table 1 The bulk density and the type of the tested cultivars

(g·L<sup>-1</sup>)

类型 Type	品种 Cultivar	容重 Bulk density	类型 Type	品种 Cultivar	容重 Bulk density	类型 Type	品种 Cultivar	容重 Bulk density
大容重 Large bulk density	沈农 92-3 Shennong 92-3	722	中容重 Medium bulk density	I062-4	709	小容重 Small bulk density	东豆 028 Dongdou 028	699
	沈农 95-3 Shennong 95-3	718		沈农 94-10 Shennong 94-10	709		I062-1	698
	SD93-5388-1	718		沈农 04-1 Shennong 04-1	709		沈农 04-3 Shennong 04-3	697
	京 33 Jing 33	716		辽豆 20 Liaodou 20	707		锦豆 33 Jindou 33	696
	京 57 Jing 57	716		沈农 04-2 Shennong 04-2	704		阜 94-2 Fu 94-2	696
	沈豆 4 号 Shendou 4	715		铁 7555 Tie 7555	703		I036	695
	I003	715		I062-18	701		开 8330-6 Kai 8330-6	694
	I027	712		京 59 Jing 59	700		京 74 Jing 74	691
	荷德松 Hedesong	711		I034	700		沈农 03-35 Shennong 03-35	687
	丹 302-2-1 Dan 302-2-1	710		I062-15	700		沈农 03-3 Shennong 03-3	687
	沈农 12 Shennong 12	710					开 8157 Kai 8157	673

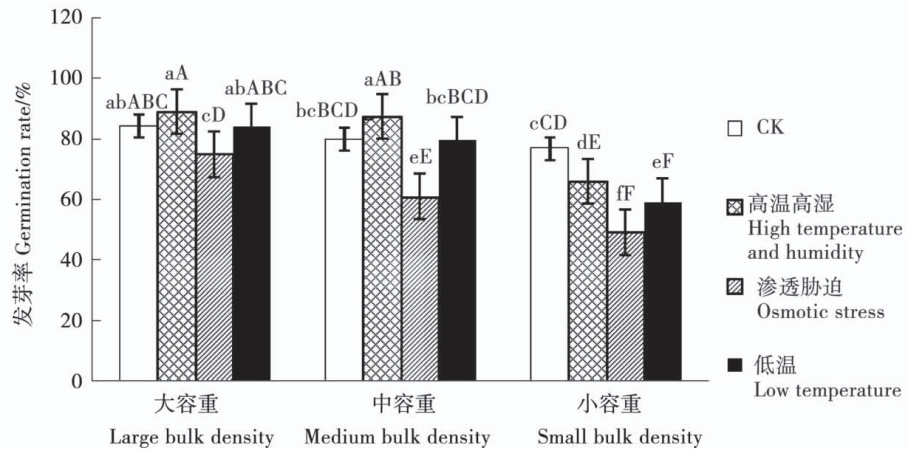
2.2 人工老化对不同容重大豆种子活力的影响

2.2.1 种子发芽率 由图 1 可知,未经处理的大豆种子的发芽率表现出随着容重的增大而升高的趋势。大容重和中容重大豆品种的种子在高温高湿和低温处理下的发芽率并没有降低,仅在渗透胁迫处理下表现出了随着容重的减小而极显著降低的趋势。小容重大豆品种的种子在 3 种人工老化处理下,种子发芽率均极显著降低。

从对不同人工老化处理的反应来看,各容重类型大豆品种的种子发芽率均存在高温高湿处理大于低温处理,而低温处理又大于渗透胁迫处理,这

表明渗透胁迫对大豆种子发芽率的影响最大,尤其是小容重品种的种子受影响最为严重;种子容重越大的品种在受到渗透逆境胁迫时发芽率保持相对稳定,表现出了较强的抗渗透逆境胁迫的能力。

2.2.2 种子发芽指数 由图 2 可知,未经处理的大豆种子的发芽指数表现出随着容重的增大而升高的趋势。大豆种子在 3 种人工老化处理下,种子发芽指数都显著降低,并且表现出随着容重的减小而降低幅度更大的趋势,这进一步表明小容重品种的种子发芽指数受人工老化处理的影响严重,抵抗逆境胁迫的能力弱。



不同小写字母代表发芽指标在 5% 水平差异显著,不同大写字母代表发芽指标在 1% 水平差异显著。下同。

The different lowercase represent the germination index at 5% respectively and different uppercase indicate significant differences at 1% level. The same below.

图 1 不同容重类型的大豆种子在 3 种人工老化处理下的发芽率  
Fig. 1 Germination rate of soybean seeds with different bulk densities under three artificial aging treatments

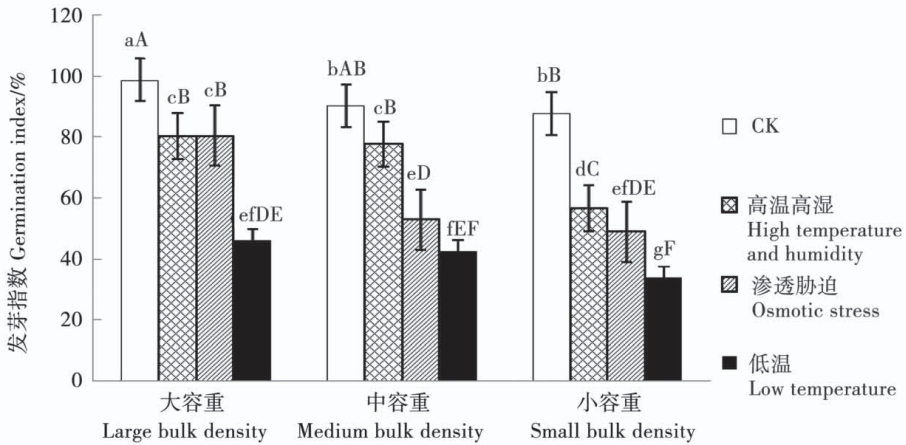


图 2 不同容重类型的大豆种子在 3 种人工老化处理下的发芽指数  
Fig. 2 Germination index of soybean seeds with different bulk densities under three artificial aging treatments

从对不同人工老化处理的反应来看,各容重类型大豆品种种子的发芽指数均表现出高温高湿处理大于渗透胁迫处理,而渗透胁迫处理又大于低温处理。说明低温处理对大豆种子发芽指数的影响最大,尤其是小容重品种的种子受影响严重。而大容重品种种子的发芽指数受逆境胁迫时降幅较小,这可能是由于种子活力相对较高,种子萌发时间早,发芽较迅速又整齐,从而抵抗逆境胁迫的能力较强。

2.2.3 发芽势 由图 3 可知,未经处理的大豆种子的发芽势表现出随着容重的增大而升高的趋势。

大容重和中容重大豆品种的种子在高温高湿处理下的发芽势并没有降低,仅在渗透胁迫处理下表现出了随着容重的减小而显著降低的趋势。小容重大豆品种的种子发芽势在 2 种人工老化处理下均极显著降低。

从对不同人工老化处理的反应来看,各容重类型大豆种子的发芽势均为高温高湿处理大于渗透胁迫处理,由此可见大豆种子的发芽势对渗透胁迫处理的反应最为强烈,尤其是小容重大豆品种的种子,所以大容重大豆品种的种子表现出较强的抵抗逆境胁迫的能力。

2.3 人工老化对不同容重大豆品种种子膜透性及脂质过氧化的影响

2.3.1 外渗可溶性糖含量 由图 4 可知,未经处理的大豆种子的外渗可溶性糖含量表现出随着容重的增大而降低的趋势。在 3 种人工老化处理下,大豆种子的外渗可溶性糖含量都显著升高,而且均表

现出随着容重的减小而极显著升高的趋势。不同人工老化处理下各容重类型大豆品种的种子可溶性糖含量均表现为低温处理 > 高温高湿处理 > 渗透胁迫处理,这说明低温处理对大豆种子的细胞膜伤害最大,而且容重越小,外渗物质越多。

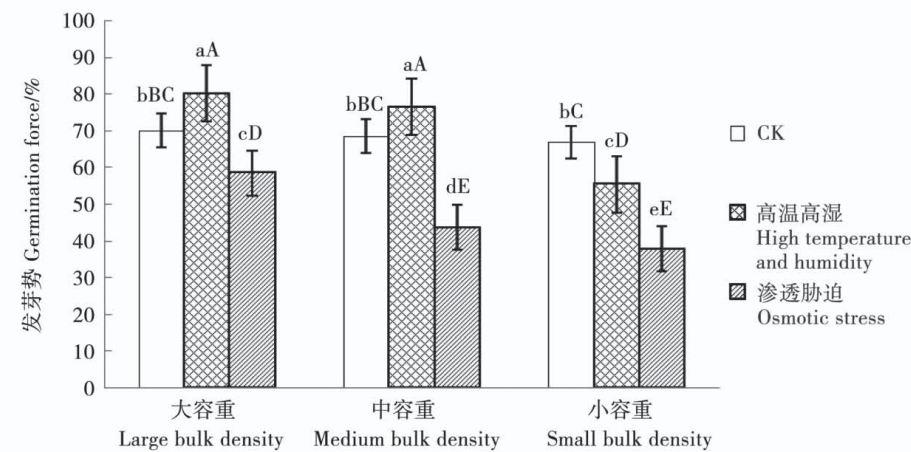


图 3 不同容重类型的大豆种子在 3 种人工老化处理的发芽势  
Fig. 3 Germination potential of soybean seeds with different bulk densities under three artificial aging treatments

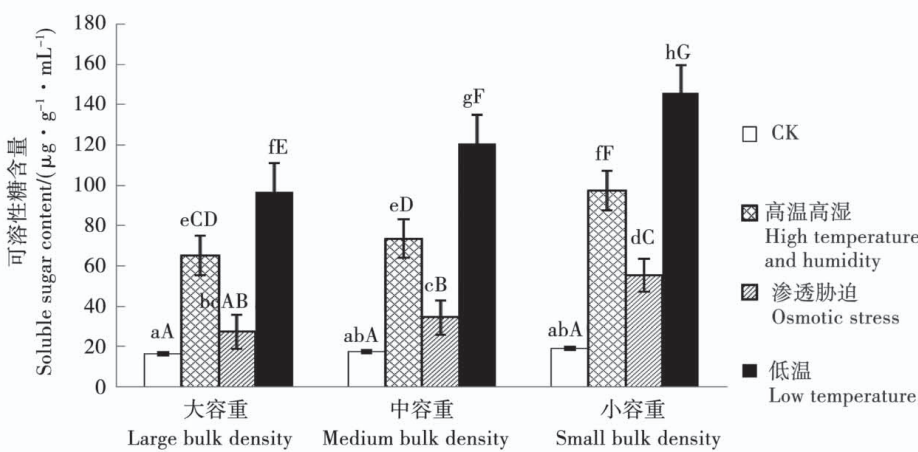


图 4 不同容重类型的大豆种子的可溶性糖含量在人工老化处理下的变化  
Fig. 4 Change of soluble sugar of soybean seeds of different bulk densities under artificial aging treatments

2.3.2 MDA 含量 由图 5 可知,未经处理的大豆种子的 MDA 含量表现出随着容重增大而降低的趋势。只有小容重的种子在高温高湿处理下的 MDA 含量没有升高。在高温高湿处理下表现出了随着容重减小而逐渐降低的趋势,而渗透胁迫处理和低温处理则与之相反。

不同人工老化处理各容重类型种子时 MDA 含量均表现为渗透胁迫处理 > 低温处理 > 高温高湿

处理,只有大容重品种的大豆种子 MDA 含量低温处理大于高温高湿处理。说明大豆种子细胞膜发生了过氧化作用,导致 MDA 含量增多。且随着容重的减小,渗透胁迫处理对大豆种子的 MDA 含量影响最大。

2.4 人工老化处理对不同容重大豆品种种子抗氧化酶活性的影响

2.4.1 超氧化物歧化酶 由图 6 可知,未经处理的

大豆种子的 SOD 活性表现出随着容重的增大而升高的趋势。3 种人工老化处理种子 SOD 活性都极显著升高,并且表现出随着容重的减小而减小的趋势,说明容重越大的大豆种子 SOD 活性受人工老化

处理的影响越小,抵抗逆境胁迫的能力越强。

不同人工老化处理下各容重类型种子 SOD 活性基本相同,表明 3 种处理对 SOD 活性的影响基本相同。

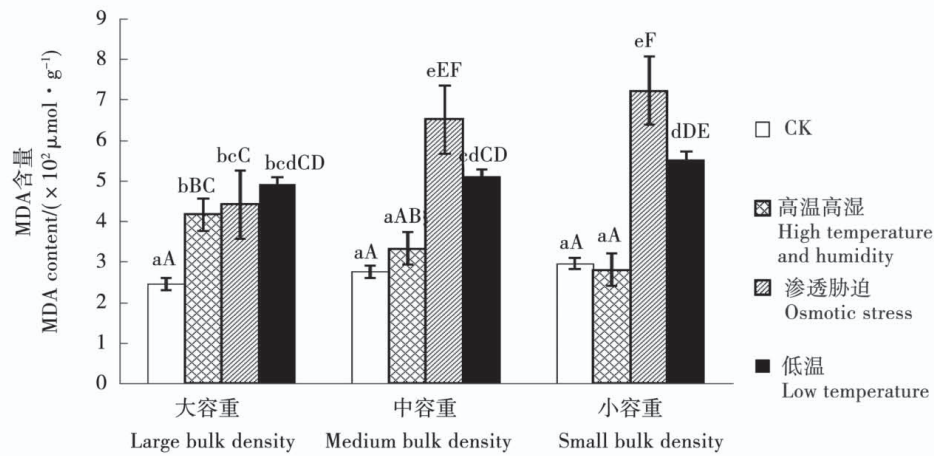


图5 不同容重类型大豆种子的 MDA 在人工老化处理下的变化

Fig. 5 Change of MDA of soybean seeds of different bulk densities under artificial aging treatments

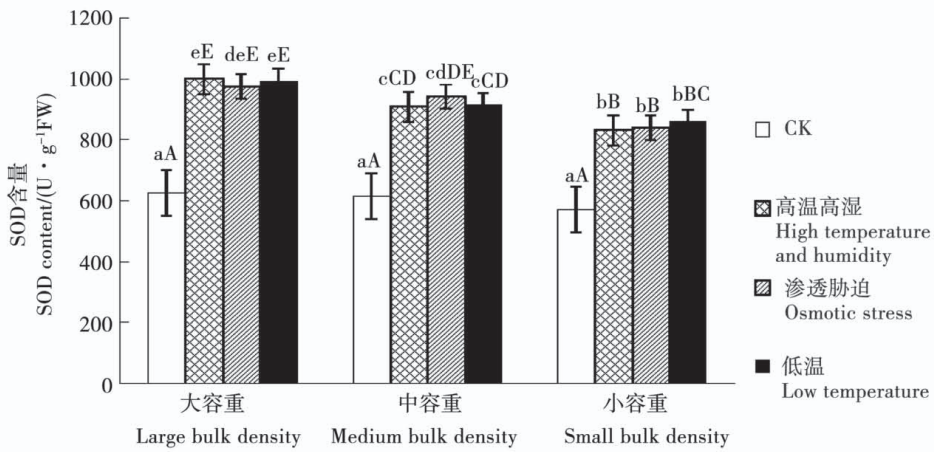


图6 人工老化处理对不同容重类型大豆品种 SOD 活性的影响

Fig. 6 Effects of artificial aging treatments on SOD activity of soybean varieties with different bulk densities

2.4.2 过氧化物酶 由图7可知,不同容重大豆品种的种子在3种人工老化处理下 POD 活性表现出随着容重的减小而降低的趋势。说明容重越大的大豆品种的种子 POD 活性受人工老化处理的影响越小。不同人工老化处理对各容重类型大豆种子 POD 活性的影响均表现为渗透胁迫处理 > 高温高湿处理 > 低温处理,这表明渗透胁迫对大豆种子 POD 活性的影响最小。

由此可见,大豆种子的 POD 活性对低温处理的反应最为强烈,尤其是容重越小种子的反应越强烈。3 种人工老化处理中,渗透胁迫处理对发芽率、

发芽指数和发芽势的影响最小,可能是由于渗透胁迫处理后的 POD 活性更大,使发芽率、发芽指数和发芽势更高。

2.4.3 过氧化氢酶 由图8可知,未经处理的大豆种子的 CAT 活性表现出随着容重的增大而升高的趋势。不同人工老化处理下,种子 CAT 活性与对照相比都极显著降低,但在高温高湿和渗透胁迫处理下表现出随着容重的减小而显著升高的趋势,而在低温处理下表现出随着容重的减小而逐渐降低的趋势。说明3种人工老化处理导致大豆种子的 CAT 活性下降。

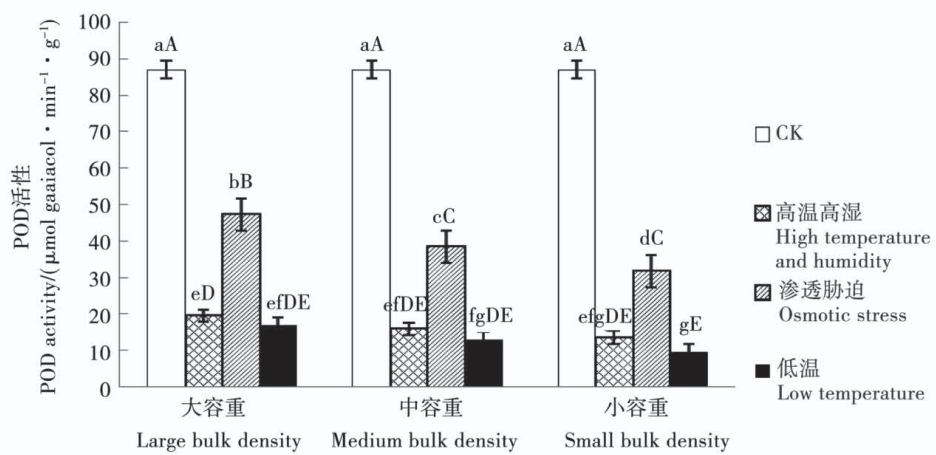


图 7 人工老化处理对不同容重类型的大豆品种 POD 活性的影响  
Fig. 7 Effects of artificial aging treatments on POD activity of soybean varieties with different bulk densities

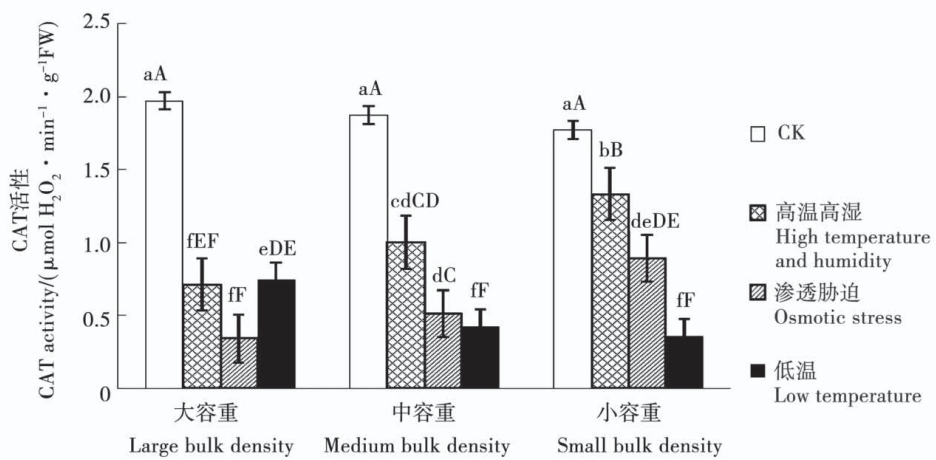


图 8 三种人工老化处理对不同容重类型的大豆品种 CAT 活性的影响  
Fig. 8 Effects of three artificial aging treatments on CAT activity of soybean varieties with different bulk densities

3 讨论

评价种子质量的重要指标之一是种子活力,种子活力对种子萌发和生长发育有重要的影响,甚至影响生产和产量<sup>[16]</sup>。在室内测定的大豆种子活力可以反应种子质量,并可应用于大豆实际生产。前人研究表明,容重大的种子,种子活力一般会较高,所以基本可以根据容重大小来分辨大豆种子活力大小。本研究得出的发芽指标随着容重的增大而升高的结果与前人的研究结果基本一致。种子老化会对种子活力产生负向的影响,室内发芽试验的种子发芽率受影响最为明显。本研究发现经过3种人工老化处理后的不同大豆品种种子的发芽指标均表现出随着大豆种子容重的减小而下降的趋势,

说明容重越小的大豆种子抵抗人工老化处理的能力越弱。但是3种人工老化处理对大豆种子的影响程度则不同,可以进行深入研究,并探讨其机理。

大豆<sup>[17]</sup>与玉米<sup>[18]</sup>、豇豆<sup>[19]</sup>种子相近,在3种人工老化处理后,细胞膜都受到损伤,使外渗物质增加。随着容重的增大,其外渗物质也增加,而低温处理对大豆种子外渗可溶性糖含量的影响最大。细胞膜产生的代谢产物是种子老化的主要原因。本研究表明:经过3种人工老化处理后的大豆种子MDA含量比未经处理的高,大豆种子MDA含量对于渗透胁迫处理的响应最显著。种子的老化不仅会使外渗物质增加,还会产生超氧自由基,破坏细胞膜的完整性<sup>[20]</sup>。而超氧自由基诱导超氧化物歧化酶(SOD)的产生,SOD的增加是植物自身的一种

保护机制<sup>[21]</sup>。本研究发现大豆种子 SOD 活性经过 3 种不同人工老化处理后的变化规律相近,均随着容重的增大而呈现增强的趋势,并且与对照相比都有所增加。除超氧自由基的毒害作用以外,还有许多代谢过程会损伤细胞膜<sup>[22]</sup>。过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)可以消除超氧自由基对细胞造成的毒害。本研究发现大豆种子 POD 活性经过 3 种不同人工老化处理后的变化规律也相近,都是随着容重的增大而呈现增强的趋势,但相对对照都有降低;但 CAT 活性的变化则不同,高温高湿和渗透胁迫处理后的 CAT 活性随着容重的增大而降低,而低温处理后的 CAT 活性随着容重的增大而升高。本研究仅分析 3 种人工老化处理对抗氧化酶的影响,可能存在一定的局限性,如果能进一步分析大豆种子老化后产生次级代谢物的差异,并且运用转录组学和代谢组学以及其它更先进的定量分析方法,对于更深入地解析大豆种子抗氧化酶作用机理有重要意义。

4 结 论

不同容重大豆品种的种子未经人工老化处理时,容重大的种子发芽势、发芽率、发芽指数更大;外渗可溶性糖含量、MDA 含量更低;SOD 活性、POD 活性、CAT 活性更强。说明容重大的大豆品种种子活性更强,抗逆境能力更强。3 种人工老化处理对容重大的种子发芽指数影响小,种子浸出液的外渗可溶性糖和 MDA 含量均随着容重的增大而降低,而 SOD 和 POD 活性均随着容重的增大而增强,说明容重越大的大豆种子抗逆境能力和抗氧化能力越强,受到老化和逆境处理后其膜的损伤更小,活力下降更少。综上所述,3 种人工老化处理对不同容重大豆品种的种子均有不同程度的影响,说明大豆种子的容重与种子活力、萌发机制和生理生化质变有关系。

参考文献

[1] 范玲娟. 三种人工老化方法对大豆种子活力和生理生化的影响[D]. 太原: 山西大学, 2007. ( Fan L J. Effects of three artificial aging methods on vigor, physiological and biochemical characteristics of soybean seeds [ D ]. Taiyuan: Shanxi University, 2007. )

[2] Smith M T, Berjak P. Deteriorative change associated with the loss of viability of stored desiccation-tolerant and desiccation sensitive seeds[M]// Seed Development and Germination. NY: Blackwell Publishing Ltd. ,1995:701-746.

[3] 毕辛华,戴心维. 种子的寿命及劣变[M]. 北京:农业出版社, 1993:65-67. ( Bi X H, Dai X W. Seed life and deterioration [ M ]. Beijing: Agriculture Press, 1993:65-67. )

[4] 郝兴宇,韩雪,居焯,等. 气候变化对大豆影响的研究进展[J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2697-2706. ( Hao X Y, Han X, Ju H, et al. Impact of climatic change on soybean production: A review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(10): 2697-2706. )

[5] 潘文,张方秋,张卫强,等. 高温高湿胁迫对红花苘等植物生理生化指标的影响及评价[J]. 广东林业科技, 2012, 28(3): 1-8. ( Pan W, Zhang F Q, Zhang W Q, et al. Effects of high temperature and humidity stress on physiological-biochemical indexes of *Rhodoleiachampionii* and others and its comprehensive evaluation [ J ]. Journal of Guangdong Forestry Science and Technology, 2012, 28(3): 1-8. )

[6] 李原园,李英能,苏人琼,等. 中国农业水危机及其对策[J]. 农业现代化研究, 1997:52-54. ( Li Y Y, Li Y N, Su R Q, et al. Water crisis in agricultural and its countermeasures in China [ J ]. Research of Agricultural Modernization, 1997: 52-54. )

[7] 赵立琴. 干旱胁迫对大豆抗旱生理指标及产量和品质影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014. ( Zhao L Q. Effect of drought stress on soybean biological drought-resistance indexes, yield and quality [ D ] Harbin: Northeast Agricultural University, 2014. )

[8] 高小宽,刘国杰,白丽荣. 聚乙二醇(PEG)模拟干旱胁迫对野生大豆与栽培大豆萌发的影响[J]. 大豆科学, 2012, 31(6): 1027-1029. ( Gao X K, Liu G J, Bai L R. Effect of polyethylene glycol(PEG) simulated drought stress on seed germination of wild and cultivated soybeans [ J ]. Soybean Science, 2012, 31(6): 1027-1029. )

[9] 郑文寅,姚大年,张文明. 大豆种子活力评定指标的研究[J]. 种子, 2007, 26(12): 70-73. ( Zheng W Y, Yao D N, Zhang W M. Study on seed vigor indexes of soybean [ J ]. Seed, 2007, 26(12): 70-73. )

[10] 田婧. 外源亚精胺缓解黄瓜幼苗高温胁迫伤害的生理调节机制和蛋白质组学研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012. ( Tian J. Physiological regulation function and proteomics research of exogenous spermidine on alleviating high temperature stress of cucumber seedlings [ D ]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012. )

[11] 张文明,郑文寅,任冲,等. 电导法测定大豆种子活力的初步研究[J]. 种子, 2003(2): 36-38. ( Zhang W M, Zheng W Y, Ren C, et al. Study on testing method of seed vigor by electrical conductivity in soybean [ J ]. Seed, 2003(2): 36-38. )

[12] 唐志华,马继凤. 大豆种子活力研究进展[J]. 作物研究, 2007, 12(5): 625-628. ( Tang Z H, Ma J F. Research progress of soybean seed vigor [ J ]. Crop Research, 2007, 12(5): 625-628. )

[13] 中国科学院上海植物生理研究所/上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社, 1999. ( Chinese Academy of Sciences, Shanghai Institute of Plant Physiology / Shanghai Plant Physiology Society. Guide to modern plant

- physiology experiments[M]. Beijing: Science Press, 1999.)
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. (Li H S. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.)
- [15] 李忠光, 李江鸿, 杜朝昆, 等. 在单一提取系统中同时测定五种植物抗氧化酶[J]. 云南师范大学学报, 2002, 22(6): 44-48. (Li Z G, Li J H, Du C K, et al. Simultaneous measurement of five antioxidant enzyme activities using a single extraction system [J]. Journal of Yunnan Normal University, 2002, 22(6): 44-48.)
- [16] 吴汉花. 胁迫条件下不结球白菜种子活力指标变化及检测方法的筛选[D]. 南京: 南京农业大学, 2012. (Wu H H. Seed vigor index changing under stresses and test method screening in non-heading Chinese cabbage[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.)
- [17] 谢皓, 陈学珍, 祁佳明, 等. 人工加速老化对大豆种子活力的影响[J]. 北京农学院学报, 2006(3): 15-17. (Xie H, Chen X Z, Qi J M, et al. Study on seed vigor of the artificial aged seeds in soybean[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2006(3): 15-17.)
- [18] 乔燕祥, 高平平, 马俊华, 等. 两个玉米自交系在种子老化过程中的生理特性和种子活力变化的研究[J]. 作物学报, 2003, 29(3): 123-127. (Qiao Y X, Gao P P, Ma J H, et al. Study on physiological characteristics and seed activity changes of two maize inbreds in ageing course[J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(3): 123-127.)
- [19] 陈晓玲, 卢新雄, 陈叔平, 等. 豇豆种子耐贮性的三种人工老化方法的比较研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(2): 219-222. (Chen X L, Lu X X, Chen S P, et al. Comparative study on three artificial aging methods in evaluating the storability of common cowpea [*Vigna unguiculata* (Linn.) Walp.] Seeds [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(2): 219-222.)
- [20] 刘娟, 归静, 高伟, 等. 种子老化的生理生化与分子机理研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(16): 4997-5006. (Liu J, Gui J, Gao W, et al. Review of the physiological and biochemical reactions and molecular mechanisms of seed aging [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(16): 4997-5006.)
- [21] 夏民旋, 王维, 袁瑞, 等. 超氧化物歧化酶与植物抗逆性[J]. 分子植物育种, 2015, 13(11): 2633-2646. (Xia M X, Wang W, Yuan R, et al. Superoxide dismutase and its research in plant stress-tolerance [J]. Molecular Plant Breeding, 2015, 13(11): 2633-2646.)
- [22] 李兰. 油菜素内酯调控铜和铬胁迫下油菜生理生化与分子机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019. (Li L. Physio-biochemical and molecular mechanism of exogenous brassinosteroids in regulating growth of *Brassica napus* under copper and chromium [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.)

## 欢迎订阅 2021 年《大豆科学》

《大豆科学》是由黑龙江省农业科学院主管主办的大豆专业性学术期刊,被国内外多家重要数据库和文摘收录源收录的重点核心期刊。主要刊登有关大豆遗传育种、品种资源、生理生态、耕作栽培、植物保护、营养肥料、生物技术、食品加工、药用功能及工业用途等方面的学术论文、科研报告、研究简报、国内外研究述评、学术活动简讯和新品种介绍等。

《大豆科学》主要面向从事大豆科学研究的科技工作者,大专院校师生、各级农业技术推广部门的技术人员及科技种田的农民。

《大豆科学》为双月刊,16开本,国内外公开发行。国内每期定价:40.00元,全年240.00元,邮发代号:14-95。国外每期定价:40.00美元(含邮资),全年240.00美元,国外代号:Q5587。全国各地邮局均可订阅,也可向编辑部直接订购。

地址:哈尔滨市南岗区学府路368号《大豆科学》编辑部

邮编:150086

电话:0451-86668735

网址: <http://ddkx.haasep.cn>

E-mail: [soybeanscience@vip.163.com](mailto:soybeanscience@vip.163.com)

