

大豆种子抗老化鉴定的方法研究

胡国玉, 张磊, 黄志平, 李杰坤, 张丽亚, 王大刚, 胡晨

(安徽省农业科学院作物研究所, 安徽省农作物品质改良重点实验室, 安徽合肥 230031)

摘要: 选用遗传差异相对较大的皖豆24、皖豆25(杂交品种)及合豆3号的种子, 在温度为40℃、湿度为85%的条件下老化处理4、8和12 d, 研究加速老化过程中不同基因型大豆种子成苗率、发芽率、电导率及单株幼苗干重的变化规律。结果表明: 随着加速老化时间的延长种子活力下降; 加速老化处理8 d, 3个品种的各项鉴定指标均发生改变: 品种的成苗率、发芽率及单株幼苗干重显著降低, 电导率明显升高, 且品种间有显著差异; 发芽率和成苗率的变化在品种间具有一致性, 电导率、单株幼苗干重的变化和成苗率品种间一致性较差; 成苗率和发芽率的相关性最高($r = 0.972^{**}$)。利用国家大豆微核心种质中的91份资源对老化鉴定方法进行验证, 结果在温度为40℃、湿度为85%条件下老化8 d的种子发芽率及老化指数与在自然条件下老化15个月的发芽率及老化指数极显著相关($r = 0.943^{**}$, 0.716^{**})。综合分析认为, 温度为40℃、湿度为85%条件下老化处理8 d, 以种子发芽率为活力鉴定指标可作为大豆种子抗老化性的鉴定方法。

关键词: 大豆; 种子老化; 抗性; 鉴定方法

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2012)03-0389-06

Identification Method of Resistance to Seed Aging in Soybean (*Glycine max* L. Merr.)

HU Guo-yu, ZHANG Lei, HUANG Zhi-ping, LI Jie-kun, ZHANG Li-ya, WANG Da-gang, HU Chen

(Crop Institute of Anhui Academy of Agricultural Sciences, Anhui key lab of Crops Quality Improving, Hefei 230031, Anhui, China)

Abstract: The objective of this study was to establish an effective identification method of seed aging resistance in soybean. The seeds of Wandou 24, Wandou 25 (hybrid soybean) and Hedou No. 3 were stored at 40℃ and 85% relative humidity for 4-12 days and investigated the changes of germination rate, seedling survival rate, seedling dry weight per plant and electrical conductivity after accelerated aging treatment. The results showed that the germination rate, seedling survival rate, and seedling dry weight per plant decreased, but electrical conductivity increased during aging process. Accelerated aging for 8 days, all the seed vigor indices of the three varieties were significantly changed. The germination rate and seedling survival rate have good coherence among varieties. Correlation between seedling survival, and germination rate was significant ($r = 0.972^{**}$). Seeds of 91 soybean varieties in Chinese soybean core collection were exposed to the same accelerated aging conditions for 8 days, and another part of the seeds were stored under normal conditions for 15 months. The germination rate and aging index of the seeds were investigated. The germination rate of the accelerated aging seeds was significant related with the germination rate of the natural aging seeds ($r = 0.943^{**}$), and the aging index of the accelerated aging seeds was significant related with the aging index of the natural aging seeds ($r = 0.716^{**}$). Consequently, artificial accelerated aging under 40℃ and 85% relative humidity for 8 days, and investigated the germination rate could effectively screen out the resistant soybean germplasm to seed aging.

Key words: Soybean (*Glycine max* L. Merr.); Seed aging; Resistance; Identification method

大豆种子由于富含脂肪、蛋白质及具有种皮组织疏松的特点, 在成熟、收获及储藏期间易老化、活力极易丧失^[1-2]。大豆种子老化一直是大豆生产及种质保存工作中存在的主要问题之一^[3-4], 随着大豆机械化播种的普及, 生产中对大豆种子活力也有

了更高的要求。培育种子活力高、抗老化的大豆新品种是解决这一问题的有效途径。有效且相对简便的大豆种子抗老化鉴定方法是筛选获得抗老化种质、培育抗性品种的基础。目前作物种子抗老化鉴定中运用的方法较多, 如加速老化处理的方法主

收稿日期: 2012-03-05

基金项目: 国家转基因重大专项重大课题(2011ZX08004-001); 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2011AA10A105); 国家大豆产业技术体系建设专项资金(CARS-04-PS07); 安徽省农科院院长基金资助项目。

第一作者简介: 胡国玉(1977-), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为豆类遗传育种。E-mail: gy_hu@126.com。

通讯作者: 张磊(1956-), 男, 研究员, 主要从事大豆遗传育种研究。E-mail: leizh66@163.com。

要有高温高湿法和甲醛浸泡法;种子活力鉴定方法及指标有发芽率、发芽势、电导率、幼苗干重等^[5-8]。这些方法及指标已经证明在大豆较小样本的鉴定中是有效的,但是在筛选大量遗传类型丰富的种质资源研究中,以及在杂交大豆的种子抗老化研究中,上述方法和指标是否能够充分鉴别品种间的抗老化性差异尚未见报道。该研究通过测定加速老化后种子的活力指标来建立大豆抗老化资源筛选的方法,并利用大量资源进行方法验证,旨在为大豆种子资源的大规模抗老化筛选提供有效的鉴定方法。

1 材料与方法

1.1 试验设计

以遗传差异相对较大的大豆常规种合豆3号、皖豆24和杂交品种皖豆25为试验材料,采用加速老化和自然老化2种方法对大豆种子进行处理,测定并研究种子的成苗率、发芽率、电导率以及单株幼苗干重的变化情况。通过对试验结果的分析,形成大豆抗老化资源筛选的鉴定方法,并利用国家大豆微核心种质的91份资源对鉴定方法进行验证。

1.2 老化处理方法

1.2.1 加速老化处理 将皖豆24、皖豆25(杂交种)和合豆3号的种子置于人工气候箱,在温度为40℃,湿度为85%条件下分别处理4、8和12 d;微核心种质在同等条件下处理8 d。

1.2.2 自然老化处理 在种子仓库自然条件下储藏15个月。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 发芽试验 取试样50粒,3次重复,选用纸床(将滤纸浸湿放在培养皿内,将种子放在滤纸上后加水至纸上见到一层薄薄水膜,在种子上覆盖一层浸湿的滤纸,每天查看及时补充水分),在人工气候箱内20℃黑暗条件发芽,发芽试验5 d时初次计数,8 d时末次计数(参照GB/T3543.4-1995),计算发芽率。

1.3.2 出苗试验 取试样50粒,3次重复,选用沙床(沙粒均匀,其直径在0.05~0.80 mm,使用前进行洗涤和高温消毒,加水至饱和含水量的80%。种子播在一层平整的湿沙上,然后加盖2 cm厚度的松散沙),在人工气候箱内20℃,12 h光照条件下,模拟田间出苗试验,试验8 d后统计生长良好的正常

幼苗数计算成苗率。

1.3.3 畸形苗率 畸形苗,指畸形或不匀称的幼苗,由种子老化等内部因素引起种子发芽的生理紊乱造成幼苗生长细弱,或存在生理障碍^[9]。计算出苗后畸形苗数占总出苗数的比例即为畸形苗率。

1.3.4 电导率测定 每份材料取50粒种子称重,2次重复。取直径为80 mm左右的烧杯,用热水和去离子水洗净。将种子放入烧杯中,加入250 mL去离子水,另一烧杯内加去离子水作对照。烧杯须用铝箔或薄膜盖好,以减少水分蒸发和被灰尘污染。所有烧杯于20℃条件下放置24 h,然后用电导率仪(DDS-12A型)测定浸泡液和对照的电导率。将各重复样品电导率减去对照电导率,按以下公式求出2个重复的平均电导率:

$$\text{单位质量电导率} (\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}) = \left(\frac{\text{重复1电导率}}{\text{重复1种子重量}} + \frac{\text{重复2电导率}}{\text{重复2种子重量}} \right) \div 2^{[9]}$$

1.3.5 单株幼苗干重 将出苗试验中的全部正常幼苗在自来水下冲洗干净去除子叶,放入105℃烘箱杀青30 min,然后80℃下烘至恒重,冷却后称重,计算单株幼苗干重^[10]。

1.3.6 老化指数 为了降低初始发芽率对老化鉴定结果的影响,用老化指数表示种子抗老化特性,老化指数越低抗性越好。老化指数计算公式如下:

$$\text{老化指数} = \frac{\text{初始发芽率} - \text{处理后发芽率}^{[11]}}{\text{初始发芽率}}$$

1.4 数据分析

使用Excel 2003和DPS 3.01软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 加速老化处理过程中种子活力鉴定指标

2.1.1 发芽率 不同基因型的大豆种子在温度为40℃,湿度为85%的条件下加速老化处理后,发芽率均下降(图1A)。皖豆25的种子初始发芽率最高,加速老化处理4 d后发芽率无明显变化,种子初始发芽率相对较低的合豆3号及皖豆24在加速老化处理4 d后发芽率明显降低,其中皖豆24发芽率降低达极显著。加速老化处理8 d后,3个品种的发芽率均极显著降低,皖豆25的发芽率最高(74.7%),皖豆24最低(43.3%)。

2.1.2 成苗率 加速老化处理4 d后,皖豆24和合豆3号的种子成苗率明显下降,皖豆24的成苗率下降达极显著水平,皖豆25的出苗率与初始成苗率相比没有降低(图1B)。处理8 d后,各品种的种子成苗率均降低,皖豆25的成苗率最高为67.3%,皖豆24的成苗率最低为35.3%。显著性分析结果表明:皖豆24、合豆3号种子成苗率下降达极显著水平,皖豆25的种子成苗率显著下降。结合图1A和1B可知:发芽率的与成苗率的变化在品种间具有一致性。

2.1.3 单株幼苗干重 加速老化处理过程中,皖豆24、合豆3号及皖豆25的单株幼苗干重明显降低(图1C)。处理4 d后,皖豆24的单株幼苗干重

极显著降低,合豆3号和皖豆25的幼苗干重降低不显著。处理8 d后,3个品种的单株幼苗干重均极显著降低,其中合豆3号的幼苗干重最高为34.8 mg,皖豆24最低为24.5 mg。

2.1.4 电导率 不同基因型大豆品种的种子随着加速老化处理的进程,种子浸泡液电导率均有不同程度的升高(图1D)。皖豆25种子的初始电导率最低,皖豆24初始电导率最高。加速老化处理4 d后,3个品种的种子浸泡液的电导率均明显升高。处理8 d后,皖豆25、皖豆24的电导率继续升高,合豆3号的电导率和处理4 d的电导率比无明显变化,皖豆24的电导率最高,合豆3号的电导率最低。

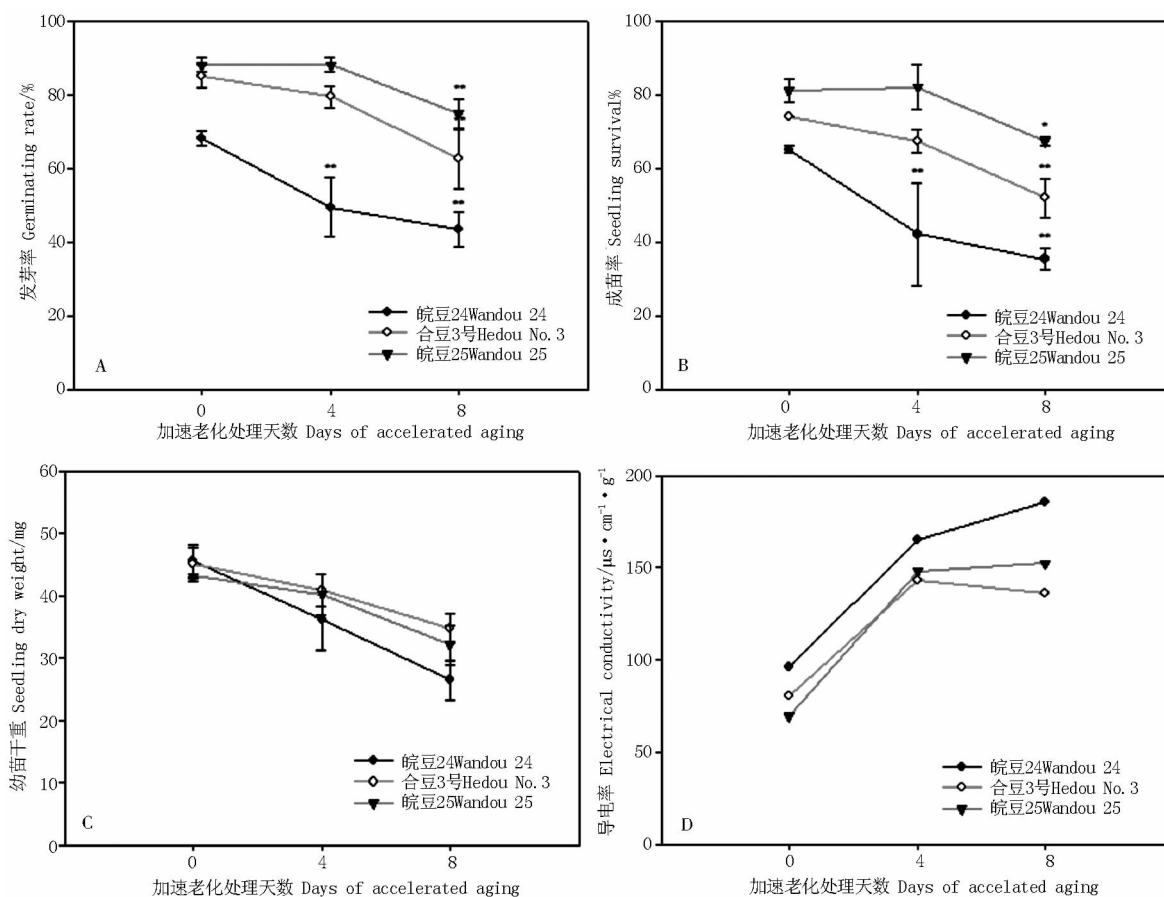


图1 加速老化处理过程中各种种子活力鉴定指标的表现

Fig. 1 Performance of evaluation indexes for seed vigor of three genotype soybean during accelerated aging

2.2 种子活力鉴定指标的相关分析

对各鉴定指标的鉴定结果做相关性分析:除畸形苗率与其它鉴定指标相关系数不显著外,其它各鉴定指标之间相关性均极显著(表1)。种子成苗率与发芽率的相关性($r=0.972^{**}$)最强,与发芽指数

的相关性($r=0.969^{**}$)次之。表明所选用的种子活力鉴定指标均能够在一定程度上反映大豆种子的老化水平,而且发芽率、发芽指数与种子老化性相关程度更高,可以作为大豆种子抗老化性的鉴定指标。

表 1 大豆加速老化处理过程中不同鉴定指标之间的相关系数

Table 1 Correlation coefficients among different identification appraisal indices on accelerated aging seed

鉴定指标 Indexes	发芽指数 GI	发芽率 GR	发芽势 GE	成苗率 SSR	畸形苗率 MSR	单株幼苗干重 DW	电导率 EC
发芽指数 GI	1						
发芽率 GR	0.990 **	1					
发芽势 GE	0.918 **	0.854 **	1				
成苗率 SSR	0.969 **	0.972 **	0.853 **	1			
畸形苗率 MSR	0.014	0.044	-0.058	-0.191	1		
单株幼苗干重 SDW	0.685 **	0.651 **	0.719 **	0.676 **	-0.124	1	
电导率 EC	-0.671 **	-0.651 **	-0.664 **	-0.647 **	0.004	-0.774 **	1

** 表示极显著相关, $P < 0.01$, 下同。

** means very significant correlation, $P < 0.01$, the same below; GI = Germination index; GR = Germination rate; germination energy; SSR = Seedling survival rate; MSR = Malformed seedling rate; SDW = Seedling dry weight per plant; EC = Electrical conductivity.

2.3 大豆种子抗老化鉴定方法的验证

测定大豆微核心种质 91 份资源的种子初始发芽率,同时进行加速老化和自然老化处理,测定处理后各种质的发芽率,并换算成老化指数。由表 2 可知:91 份资源种子的自然老化发芽率与加速老化

发芽率极显著正相关($r = 0.943^{**}$),加速老化指数与自然老化指数也极显著正相关($r = 0.716^{**}$)。用老化指数代替老化发芽率降低了种子抗老化性与种子初始活力的相关性。

表 2 自然老化处理与加速老化处理大豆种子活力系数的相关分析

Table 2 Correlation coefficients of germination rates of naturally aging and accelerated aging soybean seed

活力系数 Indexes	初始发芽率 IGR	自然老化发芽率 NAGR	加速老化发芽率 AAGR	自然老化指数 NAI	加速老化指数 AAI
初始发芽率 IGR	1				
自然老化发芽率 NAGR	0.881 **	1			
加速老化发芽率 AAGR	0.903 **	0.943 **	1		
自然老化指数 NAI	-0.419 **	-0.768 **	-0.622 **	1	
加速老化指数 AAI	-0.525 **	-0.742 **	-0.829 **	0.716 **	1

IGR; Initial germination rate; NAGR; Natural ageing germination rate; AAGR; Accelerated ageing germination rate; NAI; Natural ageing index; AAI; accelerated ageing index.

微核心种质部分资源种子在温度为 40°C , 湿度为 85% 的环境条件下,加速老化处理 8 d 后其抗性表现如图 2 所示。91 份资源中加速老化指数在 0 ~ 0.20 之间的 6 份,占总数的 6.59%;在 0.20 ~ 0.30 之间的 18 份,占总数的 19.78%;在 0.30 ~ 0.60 之间的 65 份,占总数的 71.43%;加速老化指数大于 0.60 的有 2 份,占总数的 2.20%。相同的大豆微核心种质资源种子自然老化处理 15 个月其抗性表现如图 3 所示。91 份资源中自然老化指数在 0 ~ 0.20 的有 6 份,指数在 0.20 ~ 0.30 之间的 16 份,占总数的 17.58%;在 0.30 ~ 0.60 之间的有 66 份,占总数的 72.53%;自然老化指数大于 0.60 的有 3 份,占总数的 3.30%。由图 4 和图 5 比较可知相同的资源加速老化处理和自然老化处理的抗性分布

相近似,由此,加速老化处理手段结合老化指数鉴定指标,可以作为大豆抗老化种质资源的有效鉴定方法。

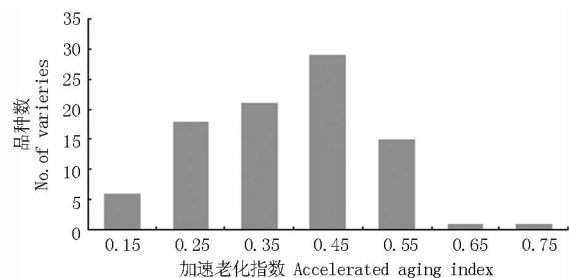


图 2 微核心种质部分资源的加速老化抗性表现

Fig. 2 Resistance of accelerated ageing in soybean varieties from small core collection

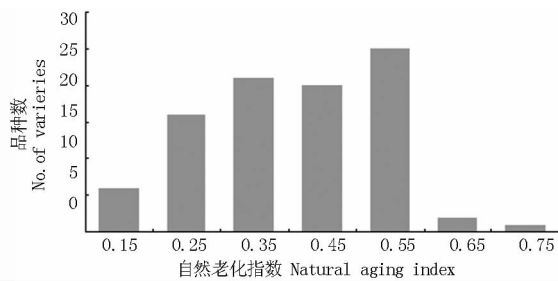


图3 部分大豆微核心种质的自然老化抗性表现

Fig. 3 Resistance of natural ageing in soybean varieties of from small core collection

3 讨论

3.1 老化处理方法

在大豆品种的种子抗老化鉴定中首先要对种子进行老化处理。自然老化时间较长且自然条件变化复杂,结果不易重现,不利于对大量种质资源及育种材料进行抗性筛选。在抗老化研究中一般对种子采取加速老化的处理方式,高温、高湿处理方法在大豆种子老化研究中普遍采用^[12]。该研究中发现大豆种子在温度40℃、湿度85%的条件下处理12 d大部分品种种子发生霉变失去发芽力,在相同条件下处理4 d后,种子初始活力较高品种的成苗率及发芽率变化不大,处理8 d各品种的各鉴定指标均有显著变化且品种间种子活力差异明显。在相同条件下对部分大豆微核心种质的种子处理8 d,以发芽率为活力鉴定指标,对参试种质的种子抗老化性进行评价。结果表明:91份资源的抗老化性分布与自然老化的抗性分布相近似,其相关系数达极显著。因此,温度40℃、湿度85%的条件下处理8 d,可以作为大豆品种抗老化性鉴定中种子老化的处理方法,也可以用于大豆抗老化育种的种质资源筛选和育种材料鉴定。

3.2 种子活力鉴定方法

种子活力的鉴定方法及指标较多,最常用的是室内发芽试验,用种子的发芽力来反映种子的活力,鉴定指标有发芽率、发芽势和发芽指数。近年又发展了土壤发芽试验、砖砾发芽试验、玉米活力“抗冷测定法”以及种子电导率和相关酶活性等生理生化指标的测定^[12-14]。为能够鉴定出大量种质资源种子的抗老化性,有必要选择相对较为简单的种子活力鉴定方法。该研究选用发芽率、发芽势、单株幼苗干重、电导率为种子活力鉴定指标对遗传差异相对较大的大豆品种进行活力测定,发现在大

豆种子进行老化处理后,不同鉴定指标在不同基因型大豆中鉴定的结果与种子成苗率的一致性有较大差异,3种基因型中以种子发芽率与成苗率的一致性最高;种子发芽率、发芽指数、电导率以及单株幼苗干重与成苗率的相关性均达到极显著水平,表明这些鉴定指标均能反映出大豆种子的老化程度,在种子生产中可以有效测定出种子批的种子活力。但是用于抗性资源筛选的抗性鉴定指标,必须能够最大程度的反映出资源及后代材料抗性的个体间差异。因而在大豆抗老化种质筛选中使用大豆发芽率作为种子活力鉴定指标更能反映出大豆资源抗性的个体差异,而电导率、相关酶活性有助于了解种子老化的生理机制,更适合种子抗老化的机理研究^[3,12-14]。

结合以上研究认为:种子在温度40℃、湿度85%的条件下加速老化8 d,以发芽率为活力鉴定指标,可以有效鉴定出不同基因型大豆的抗老化性差异,适合作为鉴定、筛选大豆抗老化种质资源和育种材料的鉴定方法。

参考文献

- [1] 孟祥栋. 菜用大豆种子劣变与生理生化变化的关系[J]. 大豆科学, 1993, 12(8): 259-264. (Meng X D. Relationship between seed deterioration and physiological and biochemical changes of vegetable soybeans [J]. Soybean Science, 1993, 12(8): 259-264.)
- [2] 顾和平, 凌以禄, 沈克琴, 等. 大豆种子特征及其抗老化特征的研究[J]. 作物研究, 1992, 6(1): 12-17. (Gu H P, Ling Y L, Shen K Q, et al. Study on seed characteristics and seed aging resistance of soybean[J]. Crop Research, 1992, 6(1): 12-17.)
- [3] 汪自强, 俞法明. 不同收获期春大豆种子贮藏后的活力研究[J]. 大豆科学, 2002, 21(1): 31-34. (Wang Z Q, Yu F M. Study on seed vigor of spring soybean in various ripening stage after four year low temperature storage[J]. Soybean Science, 2002, 21(1): 31-34.)
- [4] 王栋, 卢新雄, 张志娥, 等. SSR标记分析种子老化及繁殖世代对大豆种质遗传完整性的影响[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(2): 192-199. (Wang D, Lu X X, Zhang Z E, et al. Effect of seed aging and regeneration on genetic integrity in soybean by SSR markers[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(2): 192-199.)
- [5] 张洁, 郭数进, 马金虎. 两个大豆品种在人工加速老化过程中种子发芽和活力的变化[J]. 山西农业大学学报, 2009, 29(3): 198-201. (Zhang J, Guo S J, Ma J H. Changes of seeds' germination and activity of two soybean varieties in artificially accelerated

- aging[J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2009, 29(3): 198-201.)
- [6] 寿惠霞, 宋文坚, 张刚, 等. 栽培与野生大豆资源抗种子劣变性差异的研究[J]. 大豆科学, 1998, 17(1): 59-64. (Shou H X, Song W J, Zhang G, et al. Study on the difference of resistance to seed deterioration between cultivated and wild soybean genotypes [J]. Soybean Science, 1998, 17(1): 59-64.)
- [7] 周建萍, 乔燕祥, 穆志新, 等. 大豆种子老化过程中活力指标的研究[J]. 山西农业科学, 2007, 35(3): 33-35. (Zhou J P, Qiao Y X, Mu Z X, et al. Study on vitality index of soybean seed in aging process[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2007, 35(3): 33-35.)
- [8] 张瑛, 滕斌, 吴敬德, 等. 水稻种子高温高湿人工加速老化试验方法研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(10): 8-12. (Zhang Y, Teng B, Wu J D, et al. Study on accelerated aging test of rice seeds with high temperature and humidity [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(10): 8-12.)
- [9] 刘子凡. 种子学实验指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 57-59, 141. (Liu Z F. Seed science: a laboratory manual[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010: 57-59, 141.)
- [10] 王海华, 蒋明义, 康健, 等. 低浓度镍处理下玉米种子的萌发与活性氧代谢的关系[J]. 作物学报, 2003, 29(4): 601-605. (Wang H H, Jiang M Y, Kang J, et al. Relationship between seed germination and active oxygens metabolism in maize treated with low nickel concentration [J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(4): 601-605.)
- [11] 曾大力, 钱前, 国广泰史, 等. 稻谷储藏特性及其与籼粳特性的关系研究[J]. 作物学报, 2002, 28(4): 551-554. (Zeng D L, Qian Q, Kunihiro, et al. Study on storability and morphological index in rice (*Oryza sativa* L.) under artificial ageing [J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(4): 551-554.)
- [12] 吴聚兰, 周小梅, 范玲娟, 等. 人工老化对大豆种子活力和生理生化特性的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(6): 582-587. (Wu J L, Zhou X M, Fan L J, et al. Effects of artificial aging on seed vigor, physiological and biochemical characteristics of soybean seeds [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2011, 33(6): 582-587.)
- [13] 乔燕祥, 周建萍, 田齐建, 等. 大豆种子老化过程中生理特性变化的研究[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(5): 616-620. (Qiao Y X, Zhou J P, Tian Q J, et al. Changing of physiological characteristics of soybean seeds in aging course [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(5): 616-620)
- [14] 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, 19(1): 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, 19(1): 123-127.)
- (上接第 388 页)
- [12] 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: 134-138. (Li H S. Plant physiological and biochemical principles and techniques [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 134-138.)
- [13] 王忠. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 65-66. (Wang Z. Plant physiology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 65-66.)
- [14] 王宝山. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 167-174. (Wang B S. Plant physiology [M]. Beijing: Science Press, 2003: 167-174.)
- [15] 殷云刚. 油菜素内酯和甜菜碱诱导番茄幼苗抗旱机理的研究[D]. 重庆: 重庆西南大学, 2008: 24. (Yin Y G. The study on physiological mechanism of brassinolide and betaine in inducing drought resistance in tomato seedlings [D]. Chongqing: Southwestern University, 2008: 24.)
- [16] Agarwal S, Sairam R K, Srivastava G C, et al. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes [J]. Biologia Plantarum, 2005, 49(4): 541-550.)
- [17] 张泱. 叶面喷施脱落酸对银中杨几个生理指标的影响[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(3): 97-98. (Zhang Y. Effects of foliar spray of abscisic acid on the several physiological indexes [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2005, 33(3): 97-98.)
- [18] 张辉, 张文会, 苗秀莲, 等. 外源脱落酸对苗期野生大豆抗盐能力的影响[J]. 大豆科学, 2009, 28(5): 828-832. (Zhang H, Zhang W H, Miao X L, et al. Exogenous abscisic acid strengthen salt tolerance of *Glycine soja* at seedling stage [J]. Soybean Science, 2009, 28(5): 828-832.)
- [19] Smirnoff N, Cumbes Q J. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes [J]. Phytochemistry, 1989, 28: 1057-1060.)
- [20] 郝格格, 孙忠富, 张录强, 等. 脱落酸在植物逆境胁迫研究中的进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(18): 212-215. (Hao G G, Sun Z F, Zhang L Q, et al. A Research overview of the plant resistance to adverse environment by using abscisic acid [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(18): 212-215.)