

耐储藏大豆种质资源的筛选

高华伟¹, 满强¹, 武猛¹, 雷永强¹, 张杰¹, 张文会¹, 刘立科^{1,2}

(1. 聊城大学 生命科学学院, 山东 聊城 252059; 2. 聊城大学 农作物育种研究所, 山东 聊城 252059)

摘要:耐储藏大豆种质的筛选是大豆种子耐储藏性遗传改良的基础。通过测定种子发芽率和电导率等指标,对87份大豆种子的耐储藏性进行评价。结果共筛选出耐储藏大豆种质38份,包括24份地方种质和14份栽培种质。相关分析表明,大豆种子的耐储藏性与种皮色素沉积量正相关,与大豆籽粒大小负相关。但在这些耐储藏种质中,20份种质的种皮为黄色,3份种质的百粒重超过22g;大豆种子的耐储藏性与电导率负相关,但并不显著,电导率只能作为评价大豆耐储藏性的参考指标。所筛选出的38份种质可直接用于大豆种子耐储藏性的遗传改良,为进一步研究大豆种子耐储藏性的遗传机理奠定材料基础。

关键词:大豆种质;种子寿命;发芽率;电导率

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2014)01-0006-07

Screening of Soybean Germplasm with Good Seed Longevity

GAO Hua-wei¹, MAN Qiang¹, WU Meng¹, LEI Yong-qiang¹, ZHANG Jie¹, ZHANG Wen-hui¹, LIU Li-ke^{1,2}

(1. School of Life Science, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China; 2. Institute of Crop Breeding, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China)

Abstract: Germplasm with good seed longevity underlie the genetic improvement for seed longevity in soybean. Thirty-eight out of 87 germplasm with good longevity were screened according to the germination rate, total dissolved solids (TSD) and other indexes, including 24 landraces and 14 cultivars. The results showed that the seed longevity was positive related with the pigment content and negative related with the seed size. While among the germplasm with good longevity, 20 ones bore yellow seed coats and three ones possessed big seed with 100-seed weight over 22 g. The relationship between seed longevity and TSD was negative but not significantly, therefore, TSD could be used as reference index to evaluate soybean seed longevity. These elite germplasm with good seed longevity could be directly used in breeding progress and they provide genetic materials for seed longevity researches.

Key words: Soybean germplasm; Seed longevity; Germination rate; Total dissolved solids

种子的耐储藏性对于保证农业生产具有重要意义。大豆起源于中国,是重要的粮食和油料作物,与禾谷类作物相比,大豆种子的耐贮性较差^[1-2]。研究表明,大豆种子的耐储藏性受多种因素影响,其中遗传因素起到重要作用^[3-4]。因此,可以通过遗传改良的方式来提高大豆种子的耐储藏性。获取优良的耐储藏种质是进行遗传改良的前提,1992年,崔聪淑和卢新雄通过人工老化研究了8个国家种质资源库的大豆种质的耐储藏性,结果表明一些种质的耐储藏性较好,但并未公布这些材料的通用名称^[5]。国内其他有关大豆种子耐储存性的研究则主要集中在利用少数种质进行大豆耐储藏性机理的研究^[2,6-7],很少有研究针对育种应用而

进行耐储藏种质的筛选。虽然国外有对大豆耐储藏性种质进行筛选^[8]的研究,但国内的科研人员利用不便。为此,本文通过测定87份大豆种质的发芽率等指标筛选耐储藏的大豆种质,为培育耐储藏大豆品种和解析大豆耐储藏遗传机理奠定材料基础。

1 材料与方法

1.1 材料

将2010年秋季收获的大豆种质预先在-20℃条件下存储1年。2011年6月取出后在室温下保存。2013年春季,选取籽粒饱满、大小一致的87份种质作为试验材料(表1)。

收稿日期:2013-05-30

基金项目:国家自然科学基金(31071436);转基因生物新品种培育重大专项(2009ZX08009-088B)。

第一作者简介:高华伟(1988-),男,在读硕士,主要从事植物分子遗传学研究。E-mail:gaohuawei1025@126.com。

通讯作者:刘立科(1974-),男,博士,副教授,主要从事植物分子遗传学研究。E-mail:liulike@luc.edu.cn。

表 1 供试大豆种质名称与来源
Table 1 Name and sources of tested soybean germplasm

编号 No.	物质名称 Germplasm name	种质库保存编号 Stock number	籽粒特征 Seed characteristics	来源 Sources
1	通农 12	/	黄色圆粒	辽宁省农科院
2	集 1005	/	黄色圆粒	辽宁省农科院
3	吉育 30	/	黄色圆粒	辽宁省农科院
4	吉育 39	/	黄色圆粒	辽宁省农科院
5	吉育 41	/	黄色圆粒	辽宁省农科院
6	吉育 42	/	黄色圆粒	辽宁省农科院
7	吉育 43	/	黄色圆粒	辽宁省农科院
8	吉育 45	/	黄色圆粒	辽宁省农科院
9	吉育 47	/	黄色圆粒	辽宁省农科院
10	吉育 48	/	黄色圆粒	辽宁省农科院
11	吉育 49	/	黄色圆粒	辽宁省农科院
12	吉育 50	/	黄色圆粒	辽宁省农科院
13	鲁豆 12	/	黄色圆粒	河南省农科院
14	鲁黑豆 2 号	/	黑色圆粒	河南省农科院
15	齐黄 25	/	黄色扁粒	河南省农科院
16	齐茶豆 1 号	/	棕色扁粒	河南省农科院
17	跃进 10 号	/	黄色圆粒	河南省农科院
18	鲁宁 1 号	/	黄色圆粒	河南省农科院
19	山宁 7 号	/	黄色圆粒	河南省农科院
20	山宁 8 号	/	绿色圆粒	河南省农科院
21	山宁 9 号	/	黄色圆粒	河南省农科院
22	山宁 12	/	黄色圆粒	河南省农科院
23	临 502	/	黄色圆粒	河南省农科院
24	Clark	WDD00001	黄色圆粒	中国农科院
25	Williams	WDD00585	黄色圆粒	中国农科院
26	P1486355	WDD00632	黄色圆粒	中国农科院
27	新八达 2 号	WDD02137	黄色圆粒	中国农科院
28	兔儿眼	ZDD01612	黄色长椭	中国农科院
29	元豆	ZDD01761	黄色扁粒	中国农科院
30	天鹅蛋	ZDD02096	黄色椭圆	中国农科院
31	小黄豆	ZDD02134	黄色椭圆	中国农科院
32	褐黑豆	ZDD02551	虎斑肾状	中国农科院
33	蚕丝豆	ZDD02559	虎斑椭圆	中国农科院
34	文丰 7 号	ZDD02611	黄色椭圆	中国农科院
35	四粒圆	ZDD02764	黄色圆粒	中国农科院
36	大白皮	ZDD02866	黄色椭圆	中国农科院
37	大黄豆	ZDD02891	黄色椭圆	中国农科院
38	大天鹅蛋	ZDD02892	黄色圆粒	中国农科院
39	小米豆	ZDD02913	绿色椭圆	中国农科院
40	二粒黑豆	ZDD02990	黑色椭圆	中国农科院
41	平顶黑	ZDD03026	黑色扁椭	中国农科院

续表 1

编号 No.	物质名称 Germplasm name	种质库保存编号 Stock number	籽粒特征 Seed characteristics	来源 Sources
42	茶豆	ZDD03106	虎斑扁椭	中国农科院
43	泌阳小籽黄	ZDD03153	浓黄椭圆	中国农科院
44	浙川鸡窝黄	ZDD03237	黄色椭圆	中国农科院
45	泌阳牛毛黄	ZDD03293	黄色椭圆	中国农科院
46	博爱红皮皂角	ZDD03540	褐色椭圆	中国农科院
47	南关小青皮	ZDD08228	绿色椭圆	中国农科院
48	大屯小黑豆	ZDD08251	黑色长椭	中国农科院
49	黑豆	ZDD08472	黑色椭圆	中国农科院
50	小白豆 <2>	ZDD08986	黄色椭圆	中国农科院
51	中黄 4 号	ZDD18402	黄色椭圆	中国农科院
52	猫眼豆	ZDD18529	虎斑椭圆	中国农科院
53	花黑虎	ZDD18558	黄色椭圆	中国农科院
54	冀豆 7 号	ZDD18632	黄色圆粒	中国农科院
55	绿皮黄豆	ZDD19027	绿色椭圆	中国农科院
56	烟黄 3 号	ZDD19105	黄色圆粒	中国农科院
57	毛豆	ZDD19131	黄色椭圆	中国农科院
58	早熟黑豆	ZDD19293	黑色椭圆	中国农科院
59	郑 84240-B1	ZDD19409	黄色圆粒	中国农科院
60	绿肉黑皮豆	ZDD20340	黑色扁圆	中国农科院
61	豫豆 25	/	黄色圆粒	中国农科院
62	鲁豆 4 号	/	黄色圆粒	中国农科院
63	濮海 10 号	/	黄色圆粒	中国农科院
64	冀豆 12	ZDD23040	黄色椭圆	中国农科院
65	豫豆 12	ZDD19406	浓黄扁圆	中国农科院
66	鲁豆 99-1	/	黄色圆粒	中国农科院
67	鲁豆 99-7	/	黄色圆粒	中国农科院
68	科丰 53	/	黄色圆粒	中国农科院
69	多马卡.托利萨	/	黄色圆粒	中国农科院
70	方正秣食豆	ZDD00326	黑色扁椭	中国农科院
71	薄地高	ZDD00638	浓黄椭圆	中国农科院
72	黑秣食豆	ZDD00709	黑色肾状	中国农科院
73	茶秣食豆	ZDD00718	茶色肾状	中国农科院
74	锦州 4-1	ZDD00854	白黄长椭	中国农科院
75	龙泉大豆(褐脐)	ZDD07088	黄色椭圆	中国农科院
76	盘石豆	ZDD07391	淡黄长椭	中国农科院
77	和龙油太	ZDD07409	黄色长椭	中国农科院
78	白城秣食豆	ZDD07580	茶色肾状	中国农科院
79	油黄豆	ZDD11092	褐色椭圆	中国农科院
80	小粒秣食豆	ZDD17767	褐色椭圆	中国农科院
81	合丰 37	ZDD22659	暗黄扁圆	中国农科院
82	冀豆 16	/	黄色圆粒	实验室留存
83	西平红面豆	/	黄色圆粒	河南省农科院
84	齐黄 27	/	黄色圆粒	实验室留存
85	冀黄 13	/	黄色圆粒	实验室留存
86	皖豆 15	/	黄色圆粒	实验室留存
87	天冠 1 号	/	黄色扁粒	实验室留存

“/”表示没有种质库保存编号。

“/” indicate that the data were absent.

1.2 方法

1.2.1 发芽试验 参照农作物种子检验规程^[9]并稍作修改。发芽过程如下,在培养皿内垫二层滤纸作发芽床,每个培养皿放 30 粒大豆种子。培养箱内 25℃ 恒温发芽。参照文献^[10],在第 4 天统计发芽势,在第 7 天统计发芽率。3 次重复。

发芽率(Germination rate)/% = 第 7 天发芽数/实验种子总数 × 100

发芽势(Germination energy)/% = 第 4 天种子发芽数/实验种子总数 × 100

发芽指数(Germination index, GI) = $\sum (G_t / D_t)$,式中 G_t 指在 t 天的发芽数, D_t 为相应的发芽天数, \sum 为求和总数。

1.2.2 大豆耐储藏性的判断标准 发芽率是鉴定种子耐储藏性的直接指标^[11],同时也是检测种子质量的标准之一。参考作物种子质量的国家标准规定^[12],本文将发芽率 $\geq 85\%$ 的种质定义为耐储藏的种质。

1.2.3 电导率(total dissolved solids, TDS)测定 参

照徐本美等^[13]的方法,取大豆种子 1 g,重蒸水洗 3 次,用滤纸吸干表面水分后放入洁净的 15 mL 具塞试管,然后加入 10 mL 蒸馏水,加塞后静置于 25℃ 恒温培养箱中。在室温条件下用上海雷磁 DDSJ-308A 型电导率仪,测定各组浸泡 3,6,9,12,15,24 h 时外渗液的电导率,测完后于水浴中煮沸 10 min,待冷却至室温后,测定浸液的绝对电导率,并计算相对电导率(以下简称为电导率),3 次重复。

电导率(%) = 煮沸前浸出液电导率/绝对电导率 × 100%

1.2.4 数据分析 应用 SPSS(19.0.0.329)进行各个测量指标间的相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同往年大豆种质发芽率的测定

供试材料中,发芽率低于 85% 的种质有 49 份,无法在农业生产上继续使用。发芽率不低于 85% 的种质有 38 份,其中国内地方品种 24 份,国内栽培品种 11 份,国外栽培品种 3 份(表 2)。

表 2 38 份耐储藏大豆种质的发芽数据

Table 2 Germination data of 38 soybean germplasm with good longevity

编号 No.	种质名称 Germplasm name	发芽率 Germination rate/%	发芽势 Germination energy/%	发芽指数 Germination index
1	Clark	100	80	27.02
2	小黄豆	100	50	19.57
3	小白豆 <2 >	100	98	25.50
4	小粒秣食豆	100	100	36.00
5	齐茶豆 1 号	99	80	28.02
6	白城秣食豆	99	97	41.50
7	油黄豆	99	95	38.00
8	小米豆	98	90	20.67
9	平顶黑	98	70	20.50
10	泌阳牛毛黄	98	90	17.22
11	大屯小黑豆	98	95	28.00
12	黑豆	98	80	20.60
13	黑秣食豆	98	90	32.27
14	天冠 1 号	96	70	25.43
15	二粒黑豆	95	75	16.30
16	濮海 10 号	95	75	22.65
17	鲁宁 1 号	94	65	23.70
18	南关小青皮	94	95	14.88
19	科丰 53	93	80	12.83
20	方正秣食豆	93	85	20.95
21	盘石豆	93	90	31.83
22	西平红面豆	93	88	27.60
23	冀黄 13	92	70	21.77
24	Williams	91	75	24.71
25	多马卡·托利萨	91	86	39.41
26	齐黄 27	91	87	25.60
27	猫眼豆	90	65	14.93

续表 2

编号 No.	种质名称 Germplasm name	发芽率 Germination rate/%	发芽势 Germination energy/%	发芽指数 Germination index
28	早熟黑豆	90	70	19.37
29	绿肉黑皮豆	90	60	19.10
30	薄地高	90	70	19.53
31	龙泉大豆(褐脐)	90	75	24.37
32	吉育 50	88	60	16.20
33	褐黑豆	87	50	10.98
34	花黑虎	87	67	19.48
35	吉育 41	86	50	15.40
36	文丰 7 号	86	75	15.77
37	吉育 49	85	45	11.60
38	兔儿眼	85	70	21.89

由图 1 可知,种质的耐储藏性(发芽率)与籽粒大小(百粒重)呈负相关($r = -0.26$),但百粒重相同的不同种质间发芽率差别很大,如百粒重较大的科丰 53(22.63 g)、绿肉黑皮豆(25.40 g)和盘石豆(27.00 g)三者的发芽率均不低于 90%,具有良好的耐储藏性。

种皮颜色也会影响种质的耐储藏性。在 64 份黄色种皮的种质中,只有 31.25% 的种质为耐储藏种质,而在 23 份有色种皮的种质中,则有 69.56% 的种质为耐储藏种质(图 2)。在 16 份发芽率大于 90% 的耐储藏种质中,有色种皮种质占 62.50%,所以在大豆耐储藏育种过程中需考虑种皮色的影响。

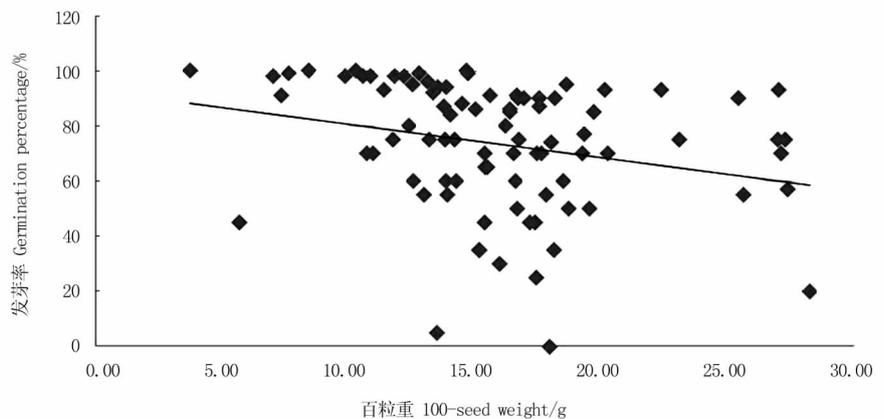


图 1 发芽率与百粒重间的关系

Fig. 1 The relationship between germination rates and seed size of soybean

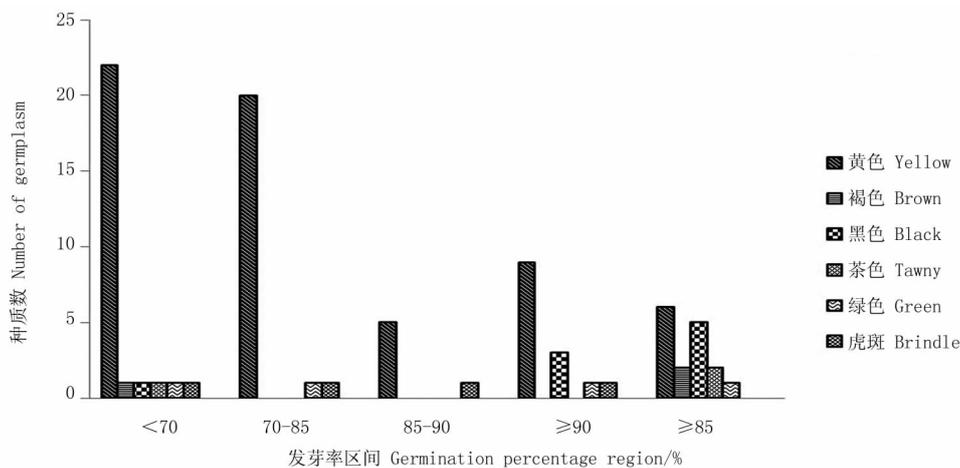


图 2 往年大豆发芽率与种皮色的关系

Fig. 2 The relationship between seed color and germination rate of soybean

2.2 不同大豆种质的浸泡液电导率

随着浸泡时间的延长,大豆种子浸泡液电导率呈逐渐增高趋势。不同种质间电导率存在差异,发芽率较高的种质,其电导率通常较低。整体上大豆种质发芽指标与电导率之间呈负相关,但相关程度并不高(表3)。因此,在本研究中仅把电导率作为筛选耐储藏种质的一个参考指标。

表3 发芽相关指标与电导率间的相关系数

Table 3 The correlation coefficient of soybean germination related indices and TDS

电导率 TDS	发芽率 Germination rate	发芽势 Germination energy	发芽指数 Germination index
3 h	0.02	0.05	0.03
6 h	-0.04	-0.12	-0.10
9 h	-0.17*	-0.25*	-0.24*
12 h	-0.24*	-0.32**	-0.27**
15 h	-0.25*	-0.36**	-0.31**
24 h	-0.26*	-0.39**	-0.32**

*和**分别表示0.05和0.01的显著性程度。下同。

* and ** mean significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same below.

籽粒大小(百粒重)与浸泡液电导率呈正相关(表4),这也进一步证实了上述耐储藏性与籽粒大小间呈负相关性的结论。从种皮色上看,黑色种皮种质的发芽率与电导率的相关性强于黄色种皮种质的发芽率与电导率的相关性(表4)。

表4 籽粒大小、种皮色与浸泡液电导率的相关系数

Table 4 The correlation coefficient of grain size, seed coat color and T. D. S

电导率 T. D. S	百粒重 100-seed weight	黄种皮种质发芽率 Germination rate of yellow seed coat	黑种皮种质发芽率 Germination rate of black seed coat
3 h	0.04	0.05	0.14
6 h	0.14	-0.02	-0.20
9 h	0.21*	-0.16*	-0.23*
12 h	0.16*	-0.27**	-0.41**
15 h	0.28**	-0.23**	-0.43**
24 h	0.27*	-0.26**	-0.34**

3 讨论

在本研究中,除了49份大豆种质的发芽率不足85%之外,有38份种质的发芽率能够达到85%,表明在大豆种质中有广泛的耐储藏遗传资源。这些

高发芽率的种质中,近2/3的是地方品种,表明这些种质是将来大豆育种的宝贵遗传资源;有14份是国内生产上广泛种植的栽培品种,这些材料由于本身聚合了大量的优良等位基因,可以直接用于大豆育种过程。

大豆种子的耐储藏性是自然选择和人工选择的结果,野生状态下,耐储藏的种子显然具有更大的生存优势。野生大豆的种子普遍籽粒小、种皮黑色。因此,不难理解为什么在本研究中耐储藏性与种皮色的深度正相关,与籽粒大小负相关。这一点,也被其他研究所证实^[14-20]。但在本研究中,也筛选出了2个具有良好耐储藏性的大粒黄种皮种质,科丰53和盘石豆,表明在育种过程中有可能培育出兼顾大粒和耐储藏的大豆新品种。

用于评价种子耐储藏性的指标中,除了种子发芽率这个直接指标外,浸泡液电导率也是常用指标^[21-23]。文献已经证明种子的耐储藏性与电导率负相关^[23-25]。在本研究中,大豆的耐储藏性整体上与电导率呈负相关,但相关性并不高。电导率与种子劣变过程中细胞膜的损伤程度有关^[25-27],但在本研究中,种皮颜色也对电导率有影响。另外,研究表明机械损伤^[28]和成熟程度^[29]等均会对电导率产生比较大的影响。因此,尚需进一步的研究来验证种子耐储藏性与电导率之间的关系。

致谢:感谢大豆种质保护项目(NB2010-2130135-25-05)及支撑项目优异大豆种质资源的鉴定与创制(2011BAD35B06-2-8)提供了大部分种质材料。感谢辽宁省农业科学院宋书宏研究员和河南省农业科学院魏良明博士提供部分种质材料。

参考文献

- [1] Dao P, Ram H H. 大豆种子寿命的遗传[J]. 大豆科学, 1999, 18(4): 312-317. (Dao P, Ram H H. Genetics of seed longevity in soybean[J]. Soybean Science, 1999, 18(4): 312-317.)
- [2] 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.)
- [3] Shelar V R, Shaikh R S, Nikam A S. Soybean seed quality during storage: a review[J]. Agricultural Reviews, 2008, 29: 125-131.
- [4] Emile J M, Mohamed E E, Elizabeth V, et al. Analysis of natural allelic variation of Arabidopsis seed germination and seed longevity traits between the accessions *Landsberg erecta* and *Shakdara*, using a new recombinant inbred line population[J]. Plant Physiology, 2004, 135: 432-443.
- [5] 崔聪淑, 卢新雄. 八个大豆品种耐藏性初探[J]. 作物品种资源

- 源,1992(3):40-41. (Cui C S, Lu X X. Preliminary research on seed longevity of eight soybean varieties [J]. *China seeds*, 1992 (3):40-41.)
- [6] 任冲. 大豆种子储藏特性及其相关衰老机理研究[D]. 中国科学院研究生院,2010. (Ren C. The research of soybean seed storage characteristics and related physiological mechanism [D]. Graduate school of Chinese Academy of Sciences, 2010.)
- [7] 刘春双. 大豆在储藏期间的品质变化[J]. *中国油脂*, 2000, 34(12):65-67. (Liu C S. Quality change of soybean during the period of storage [J]. *China Oils and Fats*, 2000, 34(12):65-67.)
- [8] Wien H C, Kueneman E A. Soybean seed deterioration in the tropics. II. Varietal differences and techniques for screening [J]. *Field Crops Research*, 1981, 4:123-132.
- [9] GB/T3543. 4. 农作物种子检验规程-发芽试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995. (GB/T3543. 4. Rules for agricultural seeds testing-Germination test [S]. Beijing: China Standards Press, 1995.)
- [10] GB/T5520-2011. 粮油检验-种子发芽试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011. (Inspection of grain and oils-Germination test of seeds [S]. Beijing: China Standards Press, 2011.)
- [11] Rajjou L, Debeaujon I. Seed longevity: survival and maintenance of high germination ability of dry seeds [J]. *Comptes Rendus Biologies*, 2008, 10:796-805.
- [12] GB4404. 2 粮食作物种子-第2部分:豆类[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010. (GB4404. 2. seed of food crops-Part2; Legume. [S]. Beijing: China Standards Press, 2010.)
- [13] 徐本美, 韩建国, 浦心春. 种苗评定与种子活力测定方法手册[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1993:101-128. (Xu B M, Han J G, Pu X C. Handbook of seedlings evaluation and seed vigour test methods [M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1993:101-128.)
- [14] Cerabolini B, Ceriani R M, Caccianiga M, et al. Seed size, shape and persistence in soil: a test on Italian flora from Alps to Mediterranean coasts [J]. *Seed Science Research*, 2003, 13:75-85.
- [15] Edwards C J, Hartwig E E. Effect of seed size upon rate of germination in soybeans [J]. *Agronomy Journal*, 1971, 63:429-450.
- [16] 肖伶俐, 康玉凡, 陶礼明, 等. 不同大豆品种芽用特性比较[J]. *大豆科学*, 2008, 27(6):955-959. (Xiao L L, Kang Y F, Tao L M, et al. Comparison analysis of characteristics of Soybean growing sprouts for different soybean varieties [J]. *Soybean Science*, 2008, 27(6):955-959.)
- [17] Starzinger E K, West S H, Hinson K. An observation on the relationship of soybean seed coat color to viability maintenance [J]. *Seed Science and Technology*, 1982, 10:301-305.
- [18] Tully R E, Musgrave M E, Leopold A C. The seed coat as a control of imbibitional chilling injury [J]. *Crop Science*, 1981, 21:312-317.
- [19] Mohamed-Yasseen Y, Barringer S A, Splittstoesser W E, et al. The role of seed coats in seed viability [J]. *The Botanical Review*, 1994, 60:426-439.
- [20] 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.)
- [21] 杨亚平, 姜孝成, 陈良碧, 等. 水稻种子老化的生理机制[J]. *湖南农业大学学报:自然科学版*, 2008, 34(3):265-269. (Yang Y P, Jiang X C, Chen L B, et al. Study on physiological mechanism in aging of rice seeds [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)* 2008, 34(3):265-269.)
- [22] 颜启传. 种子学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007. (Yan Q C. Spermology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.)
- [23] 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):34-36, 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):34-36, 38.)
- [24] 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(自然科学版)*, 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 (Natural Science Edition)*, 2009, 29(3):198-201.)
- [25] 毕辛华, 戴心维. 种子学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993. (Bi X H, Dai X W. Spermology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1993.)
- [26] Parrish D J, Leopold A C. On the mechanism of aging in soybean seeds [J]. *Plant Physiology*, 1978, 61:365-368.
- [27] 刘明久, 王铁固, 陈士林, 等. 玉米种子人工老化过程中生理特性与种子活力的变化[J]. *核农学报*, 2008, 22(4):510-513. (Liu M J, Wang T G, Chen S L, et al. Physiological and seed vigor changes of maize seeds during artificial aging course [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2008, 22(4):510-513.)
- [28] Moreano T B, Braccini A L, Scapim C A, et al. Changes in the effects of weathering and mechanical damage on soybean seed during storage [J]. *Seed Science and Technology*, 2011, 39(3):604-611.
- [29] 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*, 2000, 19(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*, 2000, 19(1):31-34.)