

# 大豆种子在不同气候区室温贮藏的适宜含水量与寿命关系研究

周 静, 辛 霞, 尹广鹏, 陈晓玲, 张金梅, 卢新雄

(中国农业科学院 作物科学研究所/国家种质库, 北京 100081)

**摘 要:** 为了解不同气候区室温贮藏的大豆种子适宜含水量与贮藏寿命的关系, 将含水量为 2.0%~8.2% 大豆种子置于西宁、哈尔滨、乌鲁木齐、北京、三亚和南昌 6 个不同气候类型地区贮藏 15 年, 每年定期检测种子生活力, 并计算种子贮藏寿命。结果表明: 大豆种子含水量在干燥至 3.5% 的过程中, 种子活力没有明显变化, 而当种子含水量低于 3.0% (含 3.0%) 时, 种子的发芽率和活力指数明显降低。大豆种子室温贮藏的适宜含水量范围为 5.0%~6.0%, 其具有地域广适性。适宜含水量范围与贮藏地点的年均气温和 0℃ 以上积温显著相关, 年均气温和 0℃ 以上年积温越高, 适宜含水量范围越窄; 反之, 则越宽。种子在西宁和哈尔滨两地的安全保存年限分别为 11 和 9 年, 寿命 (半活期) 则达 12 年以上。因此, 通过将种子干燥至适宜含水量并铝箔袋密封包装, 大豆种子可以在室温条件下达到中期保存 (10 年以上) 的效果。

**关键词:** 大豆; 种子; 室温贮藏; 适宜含水量; 贮藏寿命; 种质保存

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

DOI: 10.11861/j.issn.1000-9841.2014.05.0685

## Optimal Moisture Content and Longevity of Soybean Seeds Stored at Different Climatic Zones under Ambient Condition

ZHOU Jing, XIN Xia, YIN Guang-kun, CHEN Xiao-ling, ZHANG Jin-mei, LU Xin-xiong

(National Genebank of China/Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** To investigate the relationship between the optimal moisture content and longevity of soybean seeds, seeds with different moisture content were stored for 15 years at 6 climatic zones, including Xining, Harbin, Beijing, Urumqi, Sanya and Nanchang. Seed viability and vigor were monitored yearly, and then seed longevity was calculated. The results showed that seed drying to 3.5% moisture content did not bring significant effect on seed viability and vigor. However, further drying, i. e. moisture content equal to or lower than 3.0% did reduce seed viability and vigor. The optimal moisture contents for seed storage under ambient storage were 5.0%~6.0%, which was widely adaptable to the six climatic zones. The optimal moisture content was significantly correlated with the mean annual temperature and accumulated temperature ( $\geq 0^{\circ}\text{C}$ ). The higher the mean annual temperature and accumulated temperature ( $\geq 0^{\circ}\text{C}$ ), the narrower the optimal moisture content range, vice versa. The safe storage life (time taken for seed viability drop to 85% of the initial viability) of seed with optimal moisture content being stored at Xining and Harbin were 11 and 9 years, respectively, and the lifespan ( $P_{50}$ , time taken for seed viability drop to 50% of the initial viability) was even longer than 12 years. Therefore, the longevity of soybean seeds under ambient storage could be significantly prolonged, even longer than mid-term storage, by drying the seeds to the optimal moisture contents and packaging the seeds with aluminum foil bags.

**Key words:** Soybean; Seed; Ambient storage; Optimal moisture content; Seed longevity; Germplasm conservation

低温种质库是保护作物种质资源的最主要途径, 在全球收集保存的 740 万份资源中, 约 90% 是以种子体形式保存于 1 700 余座低温种质库中<sup>[1]</sup>。低温种质库保存种质的关键技术是将种子含水量干燥至 5.0%~7.0%, 并且在 -18℃ 的低湿条件下密封贮藏。然而, 建造低温库不仅技术要求高, 且运转和维护运转费用昂贵, 对于欠发达地区是一个较大的负担。建立一种室温条件下就能达到中期保存效果 (10 年以上) 的新技术成为一个亟待解决的问题<sup>[2]</sup>。Ellis 等在 20 世纪 80 年代提出将种子含水量降低到 5.0% 以下, 可使种子的贮藏寿命成倍

延长, 即通过常温贮藏可达到低温贮藏的效果<sup>[3]</sup>, 这即是种子超干贮藏的理论基础。之后随着研究的深入, 发现种子含水量并非越低越好, 在给定温度条件下种子含水量小于某一阈值 (最适含水量) 将导致种子损伤, 并且贮藏寿命缩短<sup>[4]</sup>。因此, Vertucci 等<sup>[5-6]</sup>提出“适宜含水量贮藏”的概念, 即种子含水量降至适宜含水量范围内, 同一温度条件下种子贮藏寿命可获得大幅度提高。

目前, 很多研究报道都以人工高温老化或恒温贮藏的种子为对象研究种子适宜含水量及其贮藏寿命<sup>[7-10]</sup>。例如, 林坚等<sup>[11]</sup>研究发现小麦种子在

收稿日期: 2014-01-21

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划 (2013BAD01B01); 中国农业科学院科技创新工程作物种质资源保护与共享创新团队项目 (2060302-2)。

第一作者简介: 周静 (1988-), 女, 硕士, 主要从事作物种质资源保存研究。E-mail: zhoujingxyz@163.com。

通讯作者: 卢新雄 (1961-), 男, 研究员, 主要从事作物种质资源保存研究。E-mail: luxinxiong@caas.cn。

50℃、35℃恒温贮藏时的适宜含水量分别为4.0%~5.0%和5.0%~6.0%。黄勇菊等<sup>[12]</sup>和郑普英等<sup>[13]</sup>均以相同的大豆品种为材料,发现种子在高温与常温或低温条件下贮藏的最适含水量存在差异。因此,适宜含水量受贮藏温度影响,恒温贮藏或者高温老化条件下获得的适宜含水量数据是否能够用于指导室温变温贮藏有待研究。本研究以大豆种子为材料,通过分析其不同气候区室温贮藏15年过程中的生活力变化,获得大豆种子室温贮藏的适宜含水量及贮藏寿命,以期建立种质资源室温安全贮藏新技术提供理论和实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料为大豆品种榆林黄豆,1996年收获,由河北省承德农业科学院提供。种子初始含水量为8.2%,发芽率为74%。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 种子干燥** 1997年进行种子干燥。把种子放于尼龙网袋中,置于干燥器内的硅胶上,硅胶与种子的质量比为10:1,室温下脱水干燥,每天更换硅胶(须经120℃烘干并冷却)。按照ISTA<sup>[14]</sup>方法进行种子含水量测定,获得含水量分别为7.5%、7.0%、6.5%、6.0%、5.5%、5.0%、4.5%、4.0%、3.5%、3.0%、2.5%和2.0%的种子。干燥后的种子立即用铝箔袋密封包装进行贮藏,对照种子(含水量8.2%)分别用纸袋和铝箔袋两种包装进行贮藏,以对比两种包装方式对种子贮藏寿命的影响。

**1.2.2 贮藏条件设定** 1997年7月将各含水量的种子分别在西宁(高原气候区)、哈尔滨(温带季风气候区湿润区)、乌鲁木齐(温带季风气候区干旱区)、北京(暖温带季风气候区)、三亚(热带季风气候区)、南昌(亚热带季风气候区)的室内进行贮藏。所选6个地区的温度条件存在明显差异(表1)。同时也将试验材料存放在北京20℃恒温条件下贮藏并作为对照。

表1 各贮藏地点年平均气温及0℃以上年积温

Table 1 Annual mean temperatures and  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  accumulated temperatures at 6 climatic zones

地点 Location	年平均气温 Annual mean temperature/ $^{\circ}\text{C}$	$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature/ $^{\circ}\text{C}$
西宁 Xining	6.0	2745.9
哈尔滨 Harbin	5.3	3202.5
乌鲁木齐 Urumqi	7.8	3540.2
北京 Beijing	13.2	4118.1
三亚 Sanya	26.2	8074.3
南昌 Nanchang	18.5	6410.2

数据来源于中国统计年鉴网 [www.tongjiniannian.com](http://www.tongjiniannian.com)。

Date from [www.tongjiniannian.com](http://www.tongjiniannian.com).

**1.2.3 种子活力和生活力测定** 大豆种子初始生活力于1997年测定。1998~2012年每年12月从各贮藏地点取出种子进行生活力检测,其检测15年。参照ISTA<sup>[14]</sup>方法测定种子发芽率。分别在发芽处理的第3天和第7天进行初次和末次计数。种子发芽前进行回湿处理,温度25℃、相对湿度75%,处理16d。

发芽率(germination rate, GR, %) = 第7天正常发芽种子数/测定种子数  $\times 100$

发芽指数(germination index, GI) =  $\sum (G_t/D_t)$

其中  $G_t$  为第  $t$  天发芽数,  $D_t$  为发芽天数,  $t \leq 7$  d

活力指数(vigor index, VI) = 第7天正常发芽根苗干质量/第7天正常发芽种子数  $\times GI$ 。

**1.2.4 适宜含水量的确定** 适宜含水量指种子在一定贮藏条件下能保持较长种子寿命的含水量范围。本研究以种子寿命半活期( $P_{50}$ )作为种子寿命的指标,即种子从初始发芽率降到发芽率50%所经历的时间。

**1.2.5 种子安全保存年限的确定** 按联合国粮农组织(FAO)推荐标准,当种子生活力下降至入库初始生活力的85%时需进行更新<sup>[15]</sup>。种子安全保存年限为种子生活力降低至更新发芽率标准时所用时间。因此,本试验的更新发芽率标准为  $74\% \times 0.85 = 62.9\%$ ,并以该值来计算大豆种子安全保存年限。

### 1.3 数据分析

利用SPSS 16.0软件分析种子生活力,半活期寿命( $P_{50}$ )长于15年的数据利用Probit回归分析估算获得。 $P_{50}$ 为Prob. = 0.5时的预测贮藏天数,该贮藏时间等同于概率回归图形概率轴(纵轴)上  $V = 0$  时(即发芽率降到50%时的概率为0)的贮藏时间<sup>[16-17]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 大豆种子耐干燥能力

超干处理可提高种子的耐贮藏性,但并不表示种子含水量越低越好<sup>[18]</sup>。为了解大豆种子的耐干燥能力,在1997年时对含水量为2.0%~8.2%的种子,进行了回湿和未回湿处理的对比发芽试验。如图1所示,干燥后的种子未经回湿处理的活力测定结果表明,含水量降至4.5%过程中,种子发芽率和活力指数均缓慢下降,但与对照(8.2%)相比差异不显著;含水量低于4.5%之后,种子发芽率和活力指数快速下降,与对照相比呈显著差异。若经回湿处理,种子含水量降至3.0%以下(包括3.0%),发芽率和活力指数与对照相比呈显著下降。回湿与不回湿处理相比较,进行回湿处理的种子活力指数始终较高。因此,大豆种子较为适宜的干燥范围为3.5%~7.5%,过度干燥(3.0%以下)对种子造成了不可修复的损伤。

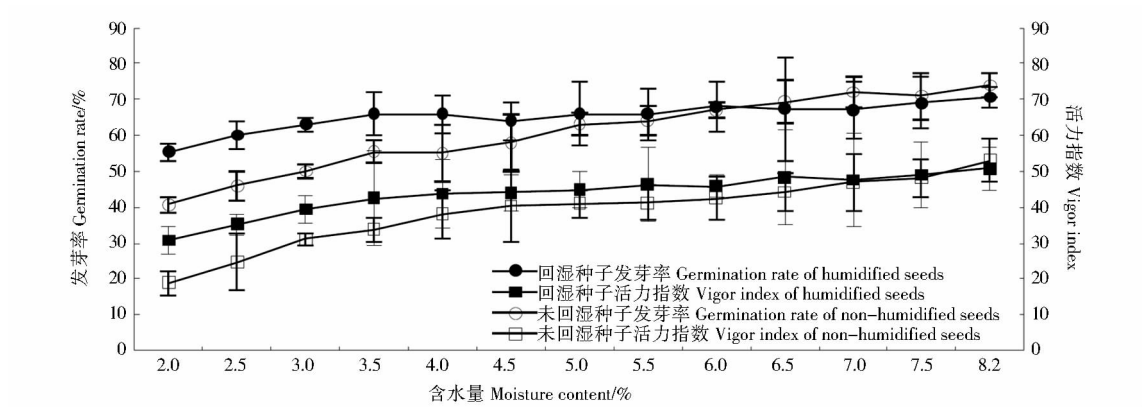


图1 回湿与未回湿处理不同含水量大豆种子的发芽率和活力指数  
Fig.1 Germination rate and vigor of soybean seeds treated with humidification and non-humidification

2.2 大豆种子不同气候区室温贮藏的适宜含水量及贮藏寿命

2.2.1 适宜含水量 通过对不同气候区贮藏的种子进行连续 15 年的生活力检测,数据显示随着含水量的降低,种子贮藏寿命呈先延长后缩短的趋势。由表 2 可知,在西宁和哈尔滨地区,含水量为 3.5%~8.2% 和 4.0%~7.5% 的种子其半活期寿命高于 10 年,而其他含水量梯度的种子其半活期寿命低于 10 年,因此以上含水量范围可分别视为两个地区的适宜含水量;在乌鲁木齐室温贮藏的适宜含水量范围为 4.0%~6.0%,北京室温和 20℃ 恒温条件

下贮藏的适宜含水量范围均为 4.5%~6.0%,其半活期寿命显著长于其他含水量种子,且均在 7 年以上。在三亚和南昌两个贮藏气候区,所有供试种子的发芽率均在第 7 年降到了 50% 以下。南昌地区,只有含水量为 4.5%~6.0% 的种子半活期寿命不低于 5 年;三亚地区,各个含水量种子的半活期寿命与其他地区相比均为最短,种子贮藏 3 年的适宜含水量范围为 5.0%~6.0%。上述结果表明:不同气候区的大豆种子贮藏适宜含水量范围不同,且贮藏寿命存在明显差异,而大豆种子适宜含水量 5.0%~6.0% 具有地域的广适性。

表 2 大豆种子在不同气候区室温及恒温 20℃ 的贮藏寿命

含水量 Moisture content/%	大豆种子半活期寿命 P <sub>50</sub> of soybean seeds						
	西宁 Xining	哈尔滨 Harbin	乌鲁木齐 Urumqi	北京 Beijing	恒温 20℃ 20℃	三亚 Sanya	南昌 Nanchang
8.2	11	10	3	4	4	0	2
7.5	13	12	6	6	6	1	3
7.0	14	12	6	6	7	1	4
6.5	>15	12	6	6	7	2	4
6.0	>15	13	8	7	8	3	5
5.5	>15	>15	10	8	8	6	6
5.0	>15	13	9	7	8	4	5
4.5	14	13	7	7	8	2	6
4.0	11	12	7	6	7	2	4
3.5	12	10	6	4	6	1	3
3.0	9	6	2	4	4	0	1
2.5	5	5	2	0	3	0	0
2.0	0	0	1	0	0	0	0

2.2.2 适宜含水量下的种子贮藏寿命 表 3 表明,适宜含水量范围内,大豆种子在西宁、哈尔滨、乌鲁木齐、北京、南昌和三亚 6 个气候区的安全保存年限与半活期贮藏寿命变化基本一致,其最长地区均为西宁,而最短地区均为三亚。在西宁和哈尔滨两个

地区,种子室温条件下贮藏,其半活期寿命均在 12 年以上,达到中期保存的效果(10 年以上)。与其他含水量种子相比,含水量为 5.5% 的种子在所有地区半活期贮藏寿命始终最长,且安全保存年限也相对较长。

表 3 适宜含水量的大豆种子安全保存年限和半活期寿命

Table 3  $P_{62.9}$  and  $P_{50}$  of soybean seeds with the optimal moisture content (year)

地点 Location	适宜含水量种子安全保存年限( $P_{62.9}$ ) $P_{62.9}$ of soybean seeds with the optimal moisture content			适宜含水量种子半活期寿命( $P_{50}$ ) $P_{50}$ of soybean seeds with the optimal moisture content		
	5.0%	5.5%	6.0%	5.0%	5.5%	6.0%
三亚 Sanya	0	1	1	2	6	3
南昌 Nanchang	3	3	2	5	6	5
北京 Beijing	6	6	5	7	8	7
西宁 Xining	8	11	11	15	21	19
乌鲁木齐 Urumqi	4	6	6	9	10	8
哈尔滨 Harbin	9	8	9	12	15	13

### 2.3 种子适宜含水量与贮藏地区年平均气温和 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温的关系

大豆种子榆林黄豆贮藏地点不同,其活力丧失速度不同。总体而言,6个地区各含水量种子在贮藏3年之内,活力差异不明显,难以判断其适宜含水量范围;从第4年开始,各地区各含水量间种子活力出现明显差异。随着贮藏时间延长,高温地区贮藏种子多数完全死亡,如三亚地区适宜含水量种子最长半活期寿命仅6年。因此,分别选择各地区的大豆种子贮藏4,5,6年的适宜含水量范围(表4)进行分析,以期探究种子适宜含水量与贮藏地区年平均气温以及 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温的关系。由表5可知,贮藏地区的年平均气温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温越高,种子适宜含水量上限越低,呈显著负相关。以三亚和北京为例,三亚的

年均温和积温均高于北京2倍左右,三亚贮藏4,5,6年种子的适宜含水量上限分别为6.0%、5.5%、5.5%,而北京的适宜含水量上限分别为8.2%、7.5%、7.5%。贮藏地区的年均气温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温与种子适宜含水量下限则呈显著正相关。以南昌和哈尔滨为例,南昌、哈尔滨的年均温和积温分别为 $18.5^{\circ}\text{C}$ 和 $6410.2^{\circ}\text{C}$ 、 $5.6^{\circ}\text{C}$ 和 $3202.5^{\circ}\text{C}$ ,南昌贮藏4,5,6年的适宜含水量下限分别为3.5%、4.0%、5.5%,而哈尔滨的适宜含水量下限分别为2.5%、2.5%、3.0%。贮藏地区的年均气温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温与种子适宜含水量上、下限的极差显著负相关。上述分析结果说明,室温贮藏时,贮藏地区年平均气温和 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温越高,种子贮藏适宜含水量范围越窄;反之,则越宽。

表 4 大豆种子在各气候区的适宜含水量

Table 4 Optimal moisture contents of soybean seeds stored at different locations (%)

地点 Location	贮藏年限 Seed storage years		
	4	5	6
三亚 Sanya	5.5~6.0	5.5	5.5
南昌 Nanchang	3.5~7.0	4.0~6.0	5.5
北京 Beijing	3.0~8.2	4.0~7.5	4.0~7.5
西宁 Xining	2.5~8.2	2.0~8.2	3.0~8.2
木齐 Urumqi	3.5~7.5	3.5~7.5	3.5~7.5
哈尔滨 Harbin	2.5~8.2	2.5~8.2	3.0~8.2

表 5 大豆种子适宜含水量与贮藏地点年平均气温和 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温的相关性Table 5 Correlation between the optimal moisture content and mean annual temperature, annual accumulated temperature ( $\geq 0^{\circ}\text{C}$ )

贮藏年限 Seed storage years	适宜含水量 Optimal moisture content	年平均气温 Mean annual temperature		年积温 Annual accumulated temperature	
		相关系数 r	P	相关系数 r	P
4	上限 Upper limit	-0.890 *	0.017	-0.934 **	0.006
	下限 Lower limit	0.891 *	0.017	0.896 *	0.016
	极差 Range	-0.901 *	0.014	-0.923 **	0.009
5	上限 Upper limit	-0.964 **	0.002	-0.983 **	0.0004
	下限 Lower limit	0.929 **	0.007	0.901 *	0.014
	极差 Range	-0.972 **	0.001	-0.966 **	0.002
6	上限 Upper limit	-0.932 **	0.007	-0.960 **	0.002
	下限 Lower limit	0.952 **	0.003	0.959 **	0.002
	极差 Range	-0.944 **	0.005	-0.962 **	0.002

0.5 < r ≤ 0.8, 为显著正相关; 0.8 < r < 1, 为高度正相关。

0.5 < r ≤ 0.8, is a significant positive correlation; 0.8 < r < 1, is high-positive correlation.

## 2.4 纸袋与铝箔袋包装种子活力变化

为了解在铝箔袋和纸袋包装中大豆种子的寿命差异,探讨室温条件下延长种子寿命的适宜包装方式,本试验分别用铝箔袋和纸袋包装对照种子,包装后放置在室温条件下(北京)贮藏,每年测定种子活力。不同包装方式种子的发芽率和活力指数

表明:铝箔袋包装种子的活力显著高于纸袋包装种子(图2),如从发芽率看采用铝箔袋包装贮藏7年后,种子发芽率仍大于30%,而纸袋包装贮藏2年后就降至20%。因此,在室温下贮藏,采用铝箔袋包装这种密封包装方式可有效延长种子贮藏寿命。

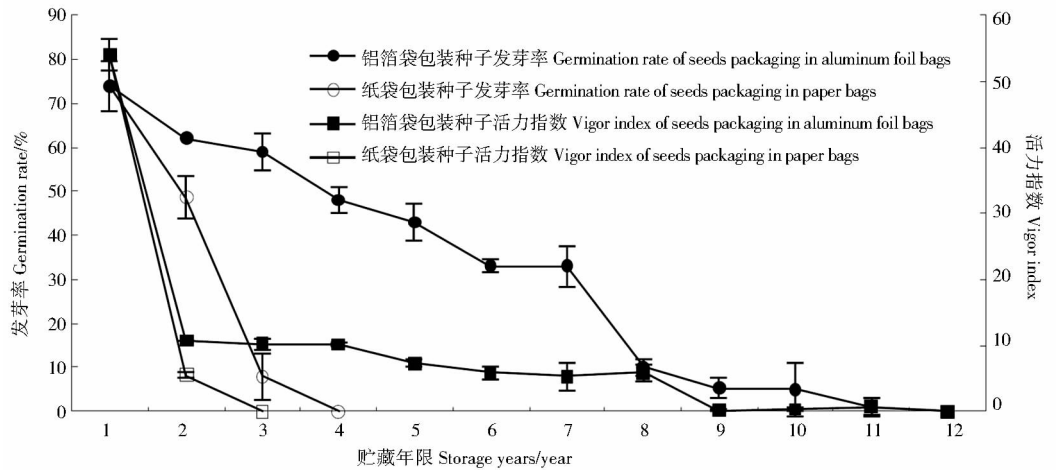


图2 铝箔袋和纸袋包装大豆种子的发芽率和活力指数

Fig. 2 Germination rate and vigor index of soybean seeds packaging in aluminum foil bags and paper bags

## 3 结论与讨论

### 3.1 不同气候区贮藏适宜含水量及影响因素

在前期水稻种子不同气候区适宜含水量研究中,获得了水稻种子室温条件下(贮藏温度不是恒定的)贮藏的适宜含水量,且其具有地域的广适性<sup>[19]</sup>。本试验采用大豆品种榆林黄豆同一批次种子,干燥后置于6个不同气候区贮藏。通过15年的生活力跟踪测定,获得种子室温贮藏的适宜含水量5.0%~6.0%,并且与水稻相同,具有地域的广适性。种子在适宜含水量范围内,活力最高且相对稳定,贮藏寿命也可获得显著地延长。

Vertucci等<sup>[5]</sup>指出种子适宜含水量受贮藏温度的影响,温度越高,贮藏的最适含水量越低。本试验结果表明,种子适宜含水量范围与贮藏地区的年均气温和 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温显著相关。年均气温和 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温越高,种子适宜含水量范围越窄,反之,范围越宽。在水稻种子研究中也存在同样的结果<sup>[19-20]</sup>。此外,西宁与哈尔滨地区年平均气温相近,但 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温显著低于哈尔滨,生活力检测结果显示西宁地区种子生活力明显高于哈尔滨地区,其原因可能与两地区 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温差异有关,并且西宁地区气候温度变化相对较小。在本研究中种子恒温 $20^{\circ}\text{C}$ 贮藏,其含水量为6.0%的种子半活期寿命8年(表2),贮藏效果明显优于南昌贮藏(年平均温度 $18.3^{\circ}\text{C}$ ,半活期寿命5年)。上述结果表明,同一平均温度条件下, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温和温差相对较小的室温条件有利于种子贮

藏寿命的延长。因此,贮藏环境温度较低或相对恒定有利于延长种子的贮藏寿命。

### 3.2 贮藏寿命及其应用建议

贮藏前干燥处理可有效地延长种子寿命,但很多研究报道表明,干燥过度,种子产生干燥损伤<sup>[21-22]</sup>,即使采用回湿处理也无法修复其干燥损伤。本试验表明大豆种子含水量降至3.0%以下时,即使经过回湿处理,也不能完全修复其活力。因此,在种子贮藏实践中,存在适宜含水量范围,并且其与贮藏环境的温度条件密切相关。此外,种子的包装方式,也是决定种子寿命的因素之一。铝箔袋密封包装与纸袋包装相比可有效延长种子贮藏寿命,原因是铝箔袋包装种子可避免空气湿度变化对种子含水量的影响。

本试验材料初始发芽率为74%,虽然种子初始活力偏低,但其试验结果对种子贮藏具有重要的实践指导意义。试验结果表明,通过将种子含水量干燥至5.0%~6.0%和铝箔袋密封包装等,大豆种子在西宁和哈尔滨地区室温保存的安全保存年限分别达到11年和9年,半活期寿命在12年以上,达到了中期保存的效果(10年以上),且通过模拟预测,在西宁地区半活期贮藏寿命最长可达到21年。为此,认为在大豆种质资源保存实践中,如果大豆种子初始发芽率在85%,且含水量干燥至适宜含水量水平,那么,在大部分北方地区进行室温贮藏,其安全保存年限完全可以达到中期保存效果(10年以上)。

综上所述,大豆种质资源室温中期保存的关键技术,首先种质初始发芽率较高;其次,贮藏前干燥处理条件采用FAO推荐的基因库标准<sup>[15]</sup>(5~20℃,RH 10%~25%),将含水量降至5.0%~6.0%,并采用铝箔袋密封包装,同时创造相对稳定或较低的温度条件将有利于种子贮藏寿命的延长。

**致谢:**早期种子干燥处理和存放,种子生活力监测由国家种质库相关的老师和工作人员协助完成,在此表示感谢。

## 参考文献

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Draft second report on the state of the world's plants genetic resources for food and agriculture [M]. Rome: Intergovernmental Technical Working Group on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture, 2009: 51-89.
- [2] 卢新雄,陈晓玲. 我国作物种质资源保存与研究进展[J]. 中国农业科学, 2003, 36(10): 1125-1132. (Lu X X, Chen X L. Progress of conservation and research of crop germplasm resources in China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(10): 1125-1132.)
- [3] Ellise R H, Hong T D, Roberts E H. A comparison of the low-moisture-content limit to the logarithmic relation between seed moisture and longevity in twelve species [J]. Annals of Botany, 1989, 63: 601-611.
- [4] Ellise R H. The viability equation, seed viability nomographs, and practical advice on seed storage [J]. Seed Science Research, 1988, 16: 29-50.
- [5] Vertucci C W, Roos E E. Theoretical basis of protocols for seed storage [J]. Plant Physiology, 1990, 94: 1019-1023.
- [6] Vertucci C W, Roos E E. Theoretical basis of protocols for seed storage II. The influence of temperature on optimal moisture levels [J]. Seed Science Research, 1993, 3: 201-213.
- [7] 胡小荣,陶梅,卢新雄,等. 油菜种子贮存最适含水量与贮藏寿命研究[J]. 种子, 2006, 25(10): 22-26. (Hu X R, Tao M, Lu X X, et al. Studies on the optimal moisture content and longevity of rape seed stored at different temperature [J]. Seed, 2006, 25(10): 22-26.)
- [8] 孙红梅,辛霞,林坚,等. 温度对玉米种子贮藏最适含水量的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(5): 656-662. (Sun H M, Xin X, Lin J, et al. Effect of temperature on optimum moisture content of stored maize seeds [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(5): 656-662.)
- [9] 张云兰,陶梅,郭欣荣,等. 谷子,绿豆,豌豆和红小豆种子贮藏最适含水量研究[J]. 种子, 2001(3): 16-20. (Zhang Y L, Tao M, Guo X R, et al. Study on optimal moisture contents for seed storage of millet, mung bean, pea, and adzuki bean [J]. Seed, 2001(3): 16-20.)
- [10] 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.)
- [11] 林坚,汪晓峰,景新明,等. 超干小麦种子抗脂质过氧化的效果[J]. 种子, 2002(2): 4-6. (Lin J, Wang X F, Jing X M, et al. Effect of anti-lipid-peroxidation of ultradried wheat seeds [J]. Seeds, 2002(2): 4-6.)
- [12] 黄永菊,吴晓明,沈金雄,等. 大豆种子超干燥保存研究[J]. 中国油料作物学报, 2000, 22(3): 39-42. (Huang Y J, Wu X M, Shen J X, et al. Research on ultra-dry storage of soybean seeds [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2000, 22(3): 39-42.)
- [13] 郑普英,伍晓明,黄永菊,等. 大豆种子超干燥保存研究[J]. 中国油料作物学报, 2001, 23(1): 22-26. (Zheng P Y, Wu X M, Huang Y J, et al. Research on ultra-dry storage of soybean seeds [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2001, 23(1): 22-26.)
- [14] The International Seed Testing Association (ISTA). International rules for seed testing [M]. Bassersdorf: The International Seed Testing Association, 1996: 1-355.
- [15] FAO. Genebank standards for plant genetic resources [M]. Rome: FAO, 2013.
- [16] Ellise R H, Roberts E H. Improved equation for the prediction of seed longevity [J]. Annals of Botany, 1980, 45: 13-30.
- [17] 伍少云,周国雁. 中期种质库贮藏下真空和非真空包装普通小麦种子的衰老特性及寿命差异[J]. 作物学报, 2011, 37(6): 1109-1115. (Wu S Y, Zhou G Y. Comparison of aging characteristics and longevity of wheat seeds in vacuum and non-vacuum packages storage in mid-term low-temperature genebank [J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(6): 1109-1115.)
- [18] 汪晓峰,景新明,郑光华,等. 含水量对种子贮藏寿命的影响[J]. 植物学报, 2001, 43(6): 551-557. (Wang X F, Jing X M, Zheng G H, et al. Effect of seed moisture content on seed storage longevity [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2001, 43(6): 551-557.)
- [19] 胡群文,卢新雄,辛萍萍,等. 水稻种子在不同气候区室温贮藏的适宜含水量及存活特性[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(6): 621-627. (Hu Q W, Lu X X, Xin P P, et al. The optimal moisture content and survival characteristics of rice seeds stored at six climatic zones under room temperature [J]. Chinese Journal of Rice Science, 2009, 23(6): 621-627.)
- [20] 吴晓亮,辛萍萍,张志娥,等. 水稻种子室温贮藏最适含水量及其热稳定蛋白的研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(11): 2214-2219. (Wu X L, Xin P P, Zhang Z E, et al. Studies on optimum moisture content and heatstable protein of rice seeds stored at room temperature [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(11): 2214-2219.)
- [21] Zheng G H, Jing X M. Ultradry storage cuts cost of gene bank [J]. Nature, 1998, 393: 23-25.
- [22] 胡小荣,胡承莲,张云兰,等. 红麻超干燥种子预先回湿方法研究[J]. 种子, 1999(3): 23-24. (Hu X R, Hu C L, Zhang Y L, et al. Study on the method of prehumidification of ultradry seeds of kenaf [J]. Seed, 1999(3): 23-24.)