

## 丹参种根和愈伤组织保存方式研究

王德昌<sup>1</sup>, 王朝阳<sup>1\*</sup>, 张玉蕾<sup>1</sup>, 郝新术<sup>2</sup> 张兰英<sup>3</sup>, 李奉勇<sup>4</sup>, 宋振巧<sup>1\*\*</sup>

1. 山东农业大学农学院, 山东 泰安 271018
2. 山东英沃思生物科技有限公司, 山东 济南 271111
3. 山东丹红制药有限公司, 山东 菏泽 250132
4. 济南中西医结合医院, 山东 济南 271111

**摘要:** 本研究探讨4℃低温保存对丹参种根及愈伤组织活力的影响,并分析保存介质、根段大小和保藏时间与种根发芽率的关系,以为丹参种质资源的中长期保存提供技术依据。试验以一年生丹参不同大小的鲜根根段和初代愈伤组织为材料,将丹参根段按长度与直径分为四组,通过沙培法测定种根发芽率,利用继代培养中愈伤组织的存活率评价其活力。结果表明:4℃湿沙保存可有效维持种根质量,显著抑制其提前发芽,保持含水量与活力,发芽率较高;种根长度与直径对低温保存后的成苗率具有显著影响,多数种根低温保存1年内成苗率保持在85%以上,且随着丹参根段长度和直径的增加,丹参出苗率及苗高相应提高;愈伤组织在4℃条件下保存9~12个月后仍具备成苗能力,但不同品种间存在保存时间与活力差异。综上所述,4℃低温湿沙保存可使丹参较大种根保存1年,为隔年种植降低成本提供可行途径;愈伤组织在低温保存9个月内可维持较好的成苗能力,为减少继代次数、简化保存流程提供依据。

**关键词:** 丹参; 低温保存; 根段; 愈伤组织

中图分类号: S567.23

文献标识码: A

文章编号: 1000-2324(2026)01-0149-08

## Preservation Methods of *Salvia miltiorrhiza* Seed Roots and Callus

WANG De-chang<sup>1</sup>, WANG Chao-yang<sup>1\*</sup>, ZHANG Yu-lei<sup>1</sup>, HAO Xin-shu<sup>2</sup>,  
ZHANG Lan-ying<sup>3</sup>, LI Feng-yong<sup>4</sup>, SONG Zhen-qiao<sup>1\*\*</sup>

1. College of Agriculture/Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

2. Shandong Inworth Biotechnology Co., Ltd., Jinan 271111, China

3. Shandong Danhong Pharmaceutical Co., Ltd., Heze 250132, China

4. Chief Physician/Jinan Integrated Traditional Chinese and Western Medicine Hospital, Jinan 271111, China

**Abstract:** This study investigates the effects of low-temperature preservation at 4 °C on the viability of *Salvia miltiorrhiza* seed roots and callus, and analyzes the relationship between preservation medium, root segment size, preservation duration and root germination rate, aiming to provide technical basis for the medium- and long-term preservation of *S. miltiorrhiza* germplasm resources. Using fresh root segments of different sizes and primary calli from one-year-old *S. miltiorrhiza* as materials, this experiment divides the root segments into four groups based on length and diameter, determining the seed root germination rate by the sand culture method, and evaluating callus viability through survival rate of calli during subculture. The results show that wet sand preservation at 4 °C effectively maintains the seed root quality, significantly inhibits premature germination, preserves water content and viability, and yields a high germination rate. Root segment length and diameter exert a significant effect on seedling establishment rate after low-temperature preservation. Most seed roots maintain a seedling establishment rate above 85% within one year of low-temperature preservation, and with increases in the length and diameter of the *S. miltiorrhiza* root segments, both the seedling emergence rate and seedling height correspondingly rise. Calli retain seedling formation capacity after 9~12 months of preservation at 4 °C, although variations in preservation duration tolerance and viability exist among different varieties. In summary, low-temperature wet sand preservation at 4 °C allows large-dimension *S. miltiorrhiza* seed roots to be stored for up to one year, providing a feasible approach to reduce the cost of biennial planting. Additionally, Calli maintain strong seedling formation capacity within 9 months of low-temperature preservation, offering a basis for reducing subculture frequency and simplifying the preservation protocols.

**Keywords:** *Salvia miltiorrhiza*; low-temperature preservation; root segment; callus

收稿日期: 2025-03-11

修回日期: 2025-12-25

基金项目: 山东省重点研发项目(2024TZX056, 2023T2XD085); 国家自然科学基金项目(82373991)

第1作者简介: 王德昌(2000-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农艺与种业。E-mail: 513544493@qq.com

\*同等贡献作者: 王朝阳(1999-), 男, 博士研究生, 研究方向: 作物遗传育种。E-mail: 15553253219@163.com

\*\*通讯作者: Author for correspondence. E-mail: szqsda@163.com

药用植物种质资源是持续培育优良新品种、不断提高中药材质量的重要物质基础<sup>[1]</sup>。药用植物资源的保护有利于从源头上整体提高我国中药产品质量,提高我国中药产业的国际地位<sup>[2]</sup>。

丹参(*Salvia miltiorrhiza*)为唇形科鼠尾草属多年生草本植物,以根及根茎入药<sup>[3]</sup>。丹参具有广泛的药理作用,其对清心除烦、养血安神、活血调经、祛瘀止痛、凉血消痛的病症有药用功效。丹参在我国分布甚广,南起江西、湖南,北达辽宁,西至四川,丹参野生、家种兼有<sup>[4]</sup>。作为我国常用大宗药材之一,随着我国老龄化社会的到来和心脑血管疾病患者的年轻化,丹参用量逐年增加,年需求量 5.2 万 t,但野生资源的数量急剧减少<sup>[5]</sup>。开展丹参资源的保护和评价,对培育丹参优良品种,保证丹参药材质量安全、有效、稳定、可控具有重要意义。

丹参有多种繁殖方式,生产中最常用的是种子育苗移栽和根段繁殖<sup>[6-10]</sup>。这些方法都可以用于丹参种质的种植加以保存,但由于每年都需要种植,人力、物力消耗大,同时在种、管、收的过程中种子育苗移栽会造成机械混杂和生物学混杂。组织培养技术是丹参种质资源保育及开发的有效途径,可通过组织器官离体保存保育植物种质资源,丹参组织培养具有繁殖速度较快、易脱除病菌和病毒等优点<sup>[11]</sup>,但存在研究种类有限,鲜有应用于生产实践,并且组培过程中存在褐化、继代频繁、愈伤组织再分化困难等技术问题。因

此如何能持续长期保存繁殖材料的生活力是保存丹参种质考虑的重点。

低温可降低呼吸消耗,延长材料的活力<sup>[12-14]</sup>。目前对丹参种子的中长期保存方法以及低温条件下保存时间对种子活力的影响已经进行了较为详细的报道<sup>[15-17]</sup>。但关于低温保存及其保存时间对丹参根段活力的影响还未见研究报道。目前以根段无性繁殖方式进行丹参生产的区域逐渐增加<sup>[5, 18]</sup>,长期无性繁殖条件下会造成病害加重、种性退化、资源濒危等问题,如何长时间保持资源种性以及活力、节约种质保存成本是当前应该解决的重要中药资源问题。本研究拟开展一年生丹参根段和愈伤组织在 4 °C 低温条件下的保存效率,为丹参以根段和组织培养材料为繁殖材料的种质保存方式建立奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验所用的丹参种根是山东农业大学药种植圃中健壮、无病虫害的丹参 ZH23 号品种。该品种在 2019 年 3 月下旬种植,2019 年 11 月中下旬收获。将收获的鲜根除掉泥土后,理顺根条,按照直径(d)和长度(L)剪切成 4 种类别的根段,分别为 A(d<5 mm、L 5~7 cm)、B(d 5~10 mm、L 5~7 cm)、C(d 5~10 mm、L 8~10 cm)、D(d>10 mm、L 5~7 cm)(图 1)。



图 1 丹参四种类型种根

Fig. 1 Four types of *Salvia miltiorrhiza* seed root segments

丹参愈伤保存实验中,以丹参品种 ZH23、ZH74 为培养材料,利用叶片为外植体,用 70% 的酒精和 0.1% 升汞消毒杀菌后,培育愈伤组织,将生成的愈伤切成 0.5 cm<sup>2</sup> 的小块,用于后期愈伤保存试验。

### 1.2 不同保存介质下低温冷藏的丹参种根保存方法

利用 B 种类型种根为材料,以每 10 根用橡

皮筋扎捆放置到不同的保存介质中,使用塑料袋进行简易密封,介质包括河沙(沙砾直径 0.25~0.5 mm)、品式泥炭土和无介质,河沙、基质介质相对湿度始终保持在 60% 左右。然后放入 4 °C 冰箱黑暗条件下冷藏 6 个月后,调查丹参根的保存质量,主要包括外观形态,以及发芽率测定。每个试验设置 3 个重复组,每组 20 条种根。发芽率测定:将沙子打湿至手握不散、松手散开的程

度(含水量8%~12%);根段形态学下端斜插入装有砂质的花盆中,扦插完后覆沙至覆盖根段,根段间隔1 cm,用保鲜膜将花盆封口,定期添加蒸馏水,保持砂质相对湿度在65%~70%区间,将培养盒放入25 °C、16 h光照8 h黑暗的光照培养箱中,发芽培养30 d记录发芽数,计算种根发芽率。

### 1.3 沙藏法4 °C黑暗保存不同时间的丹参根段处理方法

每10根为一捆用麻线绑好,形态学上端在上,放入湿润的湿沙培养盆,完全覆盖根段上端,用保鲜膜封口,定期添加蒸馏水,保持相对湿度在65%~70%区间,保存在4 °C冰箱黑暗保存;分别保存3个月、6个月、9个月和12个月后进行室内沙床发芽实验,调查发芽率。以室温沙藏法处理的B类种根保存6个月的发芽率为对照,定期添加蒸馏水,保持砂质相对湿度在65%~70%区间。每个试验设置3个重复组,每组20条种根。发芽率的测定方法同上。

### 1.4 4 °C黑暗保存下的丹参愈伤组织处理方法

利用ZH23和ZH74两种材料的愈伤,生芽培养基激素配比MS+0.5 mg/L NAA+ 2.0mg/L-6-BA,在25 °C、光照16 h/d、2 000 lx的光照培养箱中缓冲生长7 d,再放入4 °C恒温冰箱黑暗储存,以25 °C光照培养为对照。

放入4 °C冰箱的愈伤,分别保存6个月、9个

月、12个月后进行转接培养,更换新鲜的生芽培养基,之后放入25 °C、光照16 h/d、2 000 lx的光照培养箱中生长,调查其愈伤生长成活情况,探究低温愈伤保存的最长时间。

对照组的愈伤,转接在生芽培养基,直接在25 °C、光照16 h/d、2 000 lx的光照培养箱中正常生长。每1个月转接1次。

诱导生芽培养基为MS+3%蔗糖+2.0 mg/L 6-BA+0.5 mg/L NAA;诱导丹参愈伤和增殖的培养基为MS+3%蔗糖+1.0 mg/L 6-BA+0.2 mg/L NAA+0.05 mg/L 2,4-D。

## 2 结果与分析

### 2.1 保存介质对种根活力的影响

利用B种类型的种根为试验材料,研究了沙藏法、基质藏法、塑料袋密封保存方法在4 °C保存6个月的保存效率(图2)。采用沙藏法保存的种根,鲜红饱满,未出现根段干瘪和提前发芽情况(图2, JZ1);采用基质法保存的种根,发霉情况严重,未出现提前发芽情况(图2, JZ2);直接密封放在塑料袋里,种根干瘪,部分带芦头的根段出现发芽情况(图2, JZ3)。将三种介质处理的根段进行室内种植催芽,沙藏法保存的种根发芽率明显高于其他两组,且发芽较早、长势较旺。因此湿沙低温保存能较好抑制种根提前发芽,保持种根含水量,维持种根活力,沙藏法是较好的丹参保存方式。



图2 不同介质下丹参种根在4 °C黑暗冷藏6个月后的情况

Fig. 2 Status of *Salvia miltiorrhiza* seed root segments after 6 months cold storage at 4 °C in dark under different media

注:JZ1为沙藏法保存的根段,JZ2为基质法保存的根段,JZ3为塑料袋密封法保存的根段。

Note: JZ1 is the root section preserved by the sand storage method, JZ2 is the root section preserved by the matrix method, and JZ3 is the root section preserved by the plastic bag sealing method.

### 2.2 4 °C黑暗保存对丹参种根活力的影响

以B类根段室温保存6个月的发芽率及生长势为对照(图3, B-6 room temperatur; 图4, B-6 room temperature),比较4 °C低温保存6个月后

的B类种根活力,用沙培法测定4 °C下种根发芽率、生长势(图3, B-6; 图4, B-6)。统计培育30 d后的发芽率发现,在常温贮藏6个月为56.7%;而4 °C贮藏保存相同时间的根段,成苗率为98.3%。

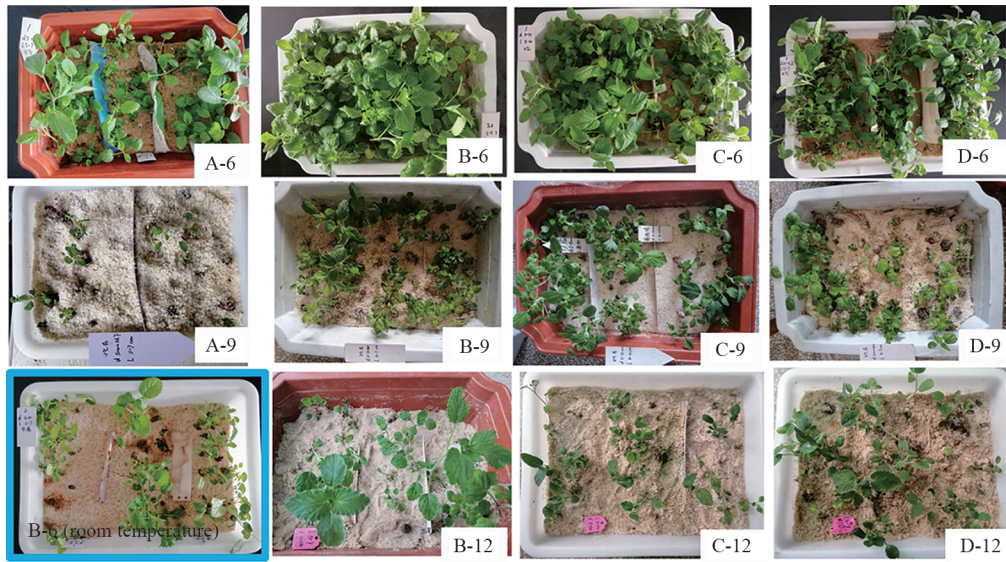


图 3 4 °C 保存不同时间后的四类丹参种根在培养盒中培养 30 d 时的发芽情况

Fig. 3 Germination status of four types of *Salvia miltiorrhiza* seed roots cultivated for 30 days in culture boxes following storage at 4 °C for different durations

注:A:d < 5 mm、L 5~7 cm; B: d 5~10 mm、L 5~7cm; C: d 5~10 mm、L 5~7 cm; D: d >10 mm、L 5~7 cm。6,9,12 分别表示 4 °C 保存 6 个月、9 个月和 12 个月。左下角带蓝色框边的发芽盒为 B 类种根在室温保存 6 个月后的发芽情况,并以此为对照。

Note: A: d < 5 mm、L 5~7 cm; B: d 5~10 mm、L 5~7cm; C: d 5~10 mm、L 5~7 cm; D: d >10 mm、L 5~7 cm. 6, 9 and 12 were stored at 4 °C for 6 months, 9 months and 12 months respectively. The germinating box with blue border in the lower left corner was the germinating condition of B-type roots after 6 months at room temperature, and it was used as the control.



图 4 4 °C 保存不同时间后的四类丹参种根培养 30 d 时的长势

Fig. 4 Growth performance of four types of *Salvia miltiorrhiza* seed roots after 30 days of cultivation following storage at 4 °C for different durations

注:A:d < 5 mm、L 5~7 cm; B: d 5~10 mm、L 5~7 cm; C: d 5~10 mm、L 5~7 cm; D: d > 10 mm、L 5~7 cm。6,9,12 分别表示 4 °C 保存 6 个月、9 个月和 12 个月。左下角带蓝色框边的发芽盒为 B 类种根在室温保存 6 个月后的长势,并以此为对照。

Note: A: d < 5 mm、L 5~7 cm; B: d 5~10 mm、L 5~7 cm; C: d 5~10 mm、L 5~7 cm; D: d > 10 mm、L 5~7 cm. 6, 9 and 12 were stored at 4 °C for 6 months, 9 months and 12 months respectively. The germinating box with blue border in the lower left corner was the germinating vigor of B-type roots after 6 months at room temperature which was used as the control.

常温保存条件下的种根发芽率较低,且部分根段出现腐烂现象;发芽晚、长势较弱(图4, B-6 room temperature);而4℃保存下的种根成苗率高、出苗整齐,长势旺盛,能够较早地出芽生长(图4, B-6)。表明低温储存能有效保持丹参种根的生活力。

### 2.3 不同大小根段在低温保存不同时间下的活力

以A、B、C、D 4类种根为研究材料,利用4℃

低温湿沙保存,分别保存6个月、9个月、12个月后,调查不同种根类型种植30 d时的发芽率(图2;图3;表1),以B类室温保存6个月的种根发芽率为对照(图3, B-6;图4, B-6)。

低温保存6个月后,约78%的A类型种根发芽,成苗率明显低于其他类型(图3, A-6),且出芽早、芽苗细弱(图4, A-6);B、C、D所有根段均发芽,成苗率100%,说明根段活力旺盛,且出芽早、芽点多,可能由于培养时间长,种植较密,芽苗均显示细高特征(图3, A-6; B-6; C-6; D-6)。

表1 四类丹参种根在4℃条件下不同保存时间下的发芽率

Table 1 Germination rates of four types of *S. miltiorrhiza* seed root segments under different preservation durations at 4℃

时间/(年-月) Time	储存时长/月 Preservation duration	发芽率 Germination rate			
		A	B	C	D
2020年05月	6	78.3%±1.3 a	98.33%±0.8 a	100.00% a	100.00% a
2020年08月	9	50.00%±0.5 b	90.00%±0.8 a	96.67%±0.7 a	90.00%±0.5 a
2020年11月	12	0.00 c	58.34%±0.8 b	55.56%±0.6 b	69.45%±0.5 b

注:不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ( $P<0.05$ ).

低温保存9个月后,约50%的A类种根发芽(图3, A-9),部分根段干瘪;B、C和D种根类型的成苗率在90%以上,且芽苗长势良好、叶片浓绿(图3, B-9; C-9; D-9)。D类个别种根腐烂,但其单个种根上的出芽最多且较粗壮;BC类型的种根成苗率高,且苗高适当、长势旺盛(图3, B-9; C-9; D-9)。

低温保存12个月后,A类型根段全部干瘪死亡,成苗率为零;移栽培养7 d时观察发现,只有B类个别种根发芽;在移栽培养30 d时,B、C、D, 3类种根发芽(图3, B-12; C-12; D-12),其中D类的发芽率达到80%,明显高于B、C类。延长培养时间至45 d时再次调查发现,各类种根继续萌发,B类成苗率达到66.7%;C的成苗率为88.9%;D类也达到了86.1%。同时每个根段的出苗数量均在2-3个,但芽苗长势不同,B类芽较矮小(图4, B-12),反映出出苗较晚;CD类型较高(图4, C-12; D-12),D类苗高高于C类。

统计保存一年内的种根发芽测定结果(表1)。结果显示,随着保存时间的增长,各种种根类型的发芽率逐渐降低,对于A种类型保存9个月的发芽率降低至一半,延长至一年后的发芽率为零;其他三种在保存9个月的时间后,发芽率仍

能保持90%以上,延长至一年时间后,发芽率明显下降至70%左右,且出芽明显较晚,延长发芽时间,C、D类可以提高至85%以上。因此种根发芽率与种根直径、长度有关,较大者保持活力的时间较长,种根较粗或较长均能有效延长低温保存活力,由于C、D的发芽率超过80%,因此认为,C、D类种根可以低温保存1年。

### 2.4 4℃低温保存对丹参愈伤组织活力的影响

以ZH23和ZH74愈伤组织为试材,于4℃冰箱黑暗条件下分别冷藏6个月、9个月、12个月,转接生芽培养基,25℃光照培养,调查其愈伤发芽繁殖活力,以25℃光照培养,每月转接一次的愈伤为对照。随着保存时间的增长,丹参愈伤的颜色、组织块大小都发生了变化。在低温保存6个月时,两个品种的愈伤组织块逐渐繁殖生长增大、颜色鲜亮;低温保存愈伤6个月,ZH23和ZH74生长转接情况,对比25℃生长转接的愈伤生长情况(图5, YS-0-B),生长力旺盛,转接后芽点较多(图5, YS-6-B)。

低温保存愈伤9个月的愈伤有了细微差别,ZH74愈伤底部有了极少部分褐化情况,愈伤颜色鲜活,有许多小小芽点冒出(图5, YS-9-A);切割绿色愈伤转接到生芽培养基中25℃光照培养

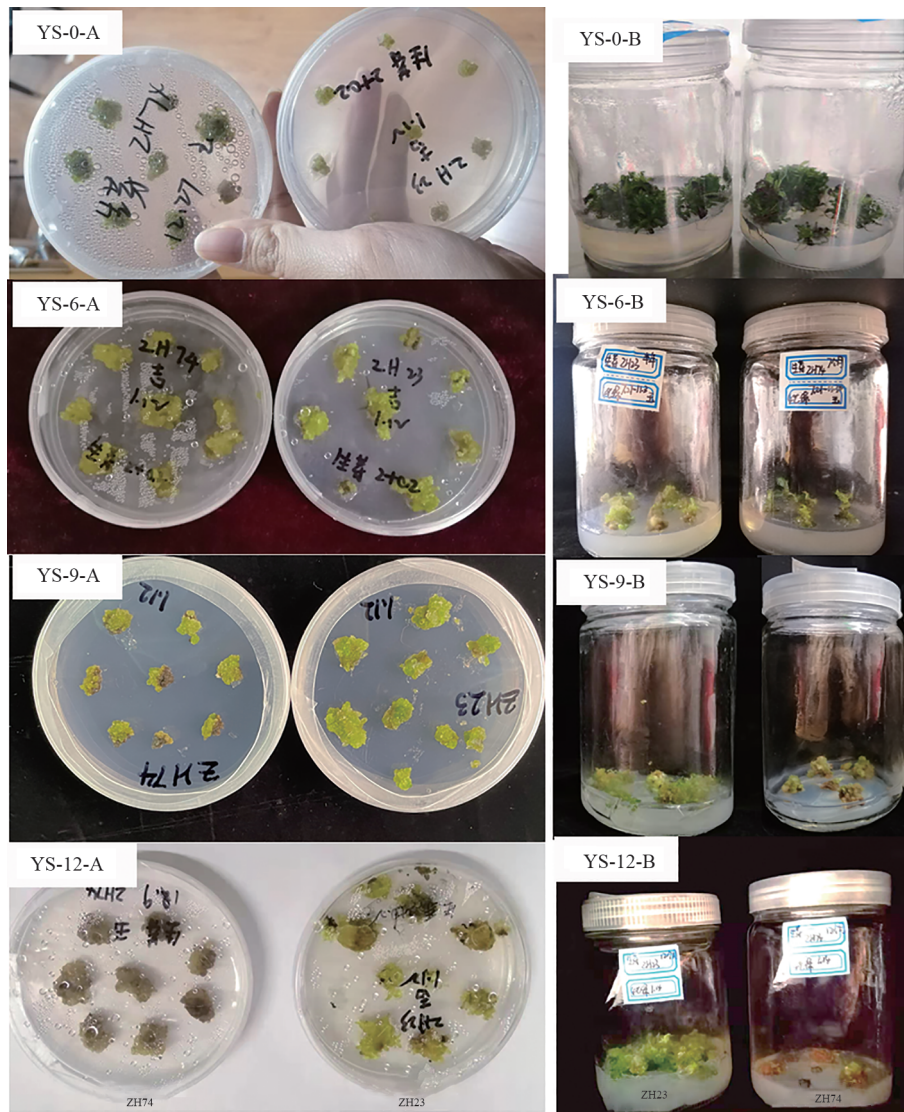


图 5 4 °C 保存不同时间对丹参愈伤组织活力的影响

Fig. 5 Different storage durations at 4 °C on viability of *Salvia miltiorrhiza* calli

注:YS-0,6,9,12 分别表示 4 °C 保存 0 个月、6 个月、9 个月和 12 个月。A 表示保存的愈伤组织,B 表示愈伤转接到生芽培养基中在 30 天时的生芽情况。

Note: YS-0, 6, 9 and 12 are stored at 4 °C for 0, 6, 9 and 12 months respectively. A is the preserved callus, B is the bud growth of callus transferred to bud medium at 30 d.

箱中一个月,可重新恢复正常生长(图 5,YS-9-B)。ZH23 愈伤转接到生芽培养基后生长良好(图 5,YS-9-B)。

低温保存愈伤 12 个月,ZH23 和 ZH74 底部都有了部分褐化情况(图 5,YS-12-A),ZH74 更为严重,愈伤变为黄色;转接后,在 25 °C 光照培养箱中培养生长两个月,ZH74 愈伤依然褐化严重,仅有少部分愈伤存活下来(图 4,YS-12-B)。ZH23 愈伤依然保持绿色活力,在 25 °C 光照培养箱中培养生长转接后,扩繁能力较强(图 5,

YS-12-B)。

对照组 25 °C 光照培养箱培养的愈伤,需每隔 1 个月就转接培养基,继代次数频繁;而利用 4 °C 低温保存过程中,丹参愈伤组织可以在 4 °C 条件下保存一年,且生活力较好。期间不更换培养基,不转接,节省了大量的人力物力。

另外品种之间具有差异,ZH23 至少可在低温 4 °C 的环境下保存 12 个月,其愈伤组织依旧颜色鲜绿,生芽繁殖能力强;而 ZH74 最长保存时效为 9 个月,超过 9 个月,愈伤组织开始逐渐黄

化、褐化,失去繁殖生芽能力。因此品种间具有差异。

### 3 讨论与结论

目前,丹参种根主要利用田间留根越冬、越年采挖移栽的方式较为普遍,但保存时间较短,要想进一步扩大根段繁殖的适用范围,必须要解决传统的根段繁殖只能做短期储存的问题,种根的中长期保存方式还未见研究报道。

本试验在研究保存温度对种根保存的影响时,常温储存的根段在保存半年后存活仅剩一半,而且在种植时大多数根段已经腐烂,或者部分根段开始萌芽。而低温保存的种根由于处于温度较低的环境,且沙质覆盖种根形态学上端,种根保持休眠状态,没有生芽生长,根段拿出时鲜活红润,富有生命力。

我们在研究保存基质对种根保存的影响时发现,基质保存的种根长霉,可能是由于基质中含有丰富的营养物质,为了保持种根的含水量,基质打湿藏种根,为霉菌提供了营养和水分,因此快速繁殖,使种根上长满霉菌。而不使用任何基质进行湿藏种根,定期向密封袋中喷入少量水分,对于没有喷到水分的根段就干瘪丧失生命力,种根湿润情况不均匀,湿度不能稳定控制;且由于没有基质覆盖种根的形态学上端,保持一定时期后,根段自行发芽。

研究种根类型对种根保存的影响时发现,一定程度上不同种根类型表现上是有差别的<sup>[19]</sup>。对于直径 $\leq 0.5$  cm的种根,可能由于营养体较细较小,储藏的营养物质少,不足以支持其储存过长的时间。而对于种根长度长、粗度粗的种根,营养体较大,保存一年后萌发,种根储存的营养物质足以使芽头顶出。杨雪琴等<sup>[20]</sup>研究表明栽细根省种,但发芽迟缓,产量低;栽植粗根的发苗壮、产量高。张锋等<sup>[21]</sup>研究发现根粗在0.7~1.0 cm,以根段长6~8 cm的丹参产量最高。本文研究结果也发现种根直径大于7 mm的种根,营养体较大,保存一年后萌发率较高。只有直径小于0.5 cm的种根,由于营养体较小,储藏的营养物质少,导致保存寿命不长。因此利用直径在0.7 cm以上的种根进行保存,第二年也可保障较高产量水平。

本研究表明,4℃低温黑暗保存技术可有效

延长丹参愈伤组织的保存周期,并显著减少继代培养频率。ZH23和ZH74两个品种在低温保存6个月时均表现出良好的适应性:愈伤组织块体积增大,颜色鲜亮,转接至生芽培养基后芽点数量多且生长活力旺盛,其繁殖能力甚至优于25℃常规培养的对照组(需每月转接)。随着保存时间延长至9个月,品种间差异逐渐显现:至12个月时,ZH74愈伤组织褐化严重且颜色黄化,转接后仅少量存活;相比之下,ZH23虽底部部分褐化,但整体仍保持绿色活力,扩繁能力较强。

通过不同保存基质对比,最佳基质为沙藏法。低温保存种根能有效延长种根贮藏寿命,4℃低温保存种根是较好的保存温度。随着保存时间的延长,种根的长度和直径均对种根出苗率有所影响,长度对种根出苗率影响更大,最佳种根选择为直径0.5~1 cm、长度8~10 cm,保存时间1年以内。随着低温保存时间的延长,不同品种愈伤的发芽率对于低温保存情况存在差别,这表明低温保存的愈伤组织的耐受性存在显著品种特异性。

### 参考文献

- [1] 赵小惠,刘霞,陈士林,等.药用植物遗传资源保护与应用[J].中国现代中药,2019,21(11):1456-1463.
- [2] 王继永,郑司浩,曾燕,等.中药材种质资源收集保存与评价利用现状[J].中国现代中药,2020,22(03):311-321.
- [3] 国家药典委员会.中华人民共和国药典[M].北京:中国医药科技出版社,2020.
- [4] 郭兰萍,黄璐琦,华国栋,等.丹参地理变异及其道地性探讨[J].现代中药研究与实践,2006(05):3-6.
- [5] 方文韬,邓爱平,康利平,等.丹参药材商品规格等级标准及质量评价[J].中国现代中药,2020,22(02):188-201.
- [6] 单成钢,张教洪,王光超,等.丹参种子特性研究[J].中国现代中药,2013,15(08):680-684.
- [7] 李颖,李军德,李丰胜,等.丹参与白花丹参的种子生物学特性研究[J].中国现代中药,2016,18(12):1612-1615.
- [8] 杨艳娟,陈光明,资付益,等.紫丹参种子生物学特性与萌发特性研究[J].安徽农业科学,2019,47(06):170-172.
- [9] 马利红.丹参根段繁殖技术研究[D].泰安:山东农业大学,2015.
- [10] 仇劲,马利红,李国清,等.不同根段繁殖处理对丹参

- 产量和品质的影响[J]. 中药材,2016,39(07):1469-1471.
- [11] 解晓红,李江辉,冯文龙,等. 丹参组培快繁技术研究[J]. 中药材,2004,27(07):474-475.
- [12] 李 翠,陈东亮,陈晓英,等. 药用植物种质资源的超低温保存[J]. 中国现代中药,2020,22(06):966-970.
- [13] Zhang A L, Wang M R, Li Z, et al. Overcoming challenges for shoot tip cryopreservation of root and tuber crops[J]. *Agronomy*,2023,13(1):219.
- [14] Bettoni J C, Wang M R, Wang Q C. In vitro regeneration, micropropagation and germplasm conservation of horticultural plants[J]. *Horticulturae*,2024,10(1):45.
- [15] 卫士美,史俊民,贾生平,等. 丹参种子长期贮藏技术[J]. 种子科技,2012,30(10):34.
- [16] 成清琴,王 磊,陈 娟,等. 丹参种子的超干贮藏研究[J]. 中草药,2010,41(05):825-829.
- [17] 赵宏光,胡婉莹,郑宇婕,等. 不同储存温度和方式对丹参种子萌发的影响[J]. 种子,2020,39(11):14-18+43.
- [18] 张松林,郭俊霞,王晓宇,等. 川丹参种根质量标准的探究[J]. 世界中医药,2020,15(02):231-234.
- [19] Stup RS, Westbrook A S, DiTommaso A. Impact of burial depth and root segment length on vegetative propagation of common milkweed (*Asclepias syriaca*) [J]. *Weed Science*,2024,72(5):562-566.
- [20] 杨雪琴,邵科岐,陈 杰. 宝鸡北部山区丹参出苗率低原因与对策[J]. 西北园艺(综合),2018(05):39-40.
- [21] 张 锋,单成钢,韩金龙,等. 白花丹参分根繁殖技术研究[J]. 现代中药研究与实践,2014,28(05):6-8.