



航天诱变种苗大小对当归物候特征、抗逆生理特性 及药材产量的影响

刘宇晓¹,郭凤霞¹,陈 垣^{1,2},王红燕¹,焦旭升¹,金建琴¹,刘晓峰¹

(1. 甘肃农业大学 生命科学技术学院,农学院/甘肃省中药材规范化生产技术创新重点实验室/甘肃省药用植物栽培
育种工程研究中心/甘肃省干旱生境作物学重点实验室,兰州 730070;2. 甘肃天士力中天药业有限责任公司,
甘肃省特色药用植物资源保护与利用工程实验室/甘肃省特色药材规范化可追溯栽培工程技术研究中心,甘肃定西 748100)

摘 要 为了探索航天搭载对当归成药特性的诱变效应,通过对航天诱变当归种子育成种苗分级移栽,研究种苗大小对当归成药期物候特征、抗逆生理特性、农艺性状及产量的影响。结果表明:种苗越大其返青率、移栽成活率、早期抽薹率越高,前期生长发育态势越好,表现为大苗成药栽培期株高、株幅、叶柄粗、复叶数、叶面积等生长发育指标优异;种苗大小对当归生长期膜脂过氧化程度及抗氧化酶活性具有显著影响,前期小苗抗氧化系统薄弱,膜脂过氧化程度大,后期大苗抗氧化活性低于小苗,膜脂过氧化程度变大;种苗大小对当归成药栽培产量具有显著影响,表现为小苗栽产量最高(6 382.46 kg/hm²),中苗栽次之(3 159.44 kg/hm²),大苗栽最低(1 073.48 kg/hm²)。可见,航天诱变育种对当归种苗的物候特征、抗逆性、产量及质量影响较大;因育成的小种苗移栽后产量较高,质量优异,可在后期研究和生产中选择小种苗移栽。

关键词 当归种苗;成药期;航天诱变;早期抽薹;阿魏酸

中图分类号 S5

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2022)03-0335-10

当归 *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels 为伞形科当归属多年生草本药用植物,最早载于《神农本草经》,素有“妇科圣药”之称^[1],被列为补血药之首^[2],当归味甘、辛、微苦,归肝、心、脾经,具有补血活血、调经止痛,润肠通便的功效,用于血虚萎黄、月经不调等症^[3]。是治疗妇科疾病的常用中药^[4]。

甘肃岷县所产当归质量最佳,被誉为中国当归之乡^[5],然而,当归栽培品种主要为农家地方品种,为多种类型的混合体^[6],随着种植年限的延长,品种退化明显,早期抽薹率高,根病严重。尽管有人^[6]开展了当归新品种选育研究,但目前尚不能解决生产上存在的问题。航天诱变育种是指通过将植物种子搭载宇宙飞船或返回式卫星,利用太空中的强辐射、微重力、高真空和弱磁场等使其性状发生遗传变异,然后从中选育出具有优良

特性的现代育种新技术^[7-10],利用航天诱变途径已在中药材品种选育中初步得到应用^[11-13]。本研究采用航天诱变进行育种,在有机栽培条件下探索当归航天新品种选育,以期选育符合育种目标的当归新品种。航天诱变当归种苗大小变异较大,对不同大小种苗的特性尚不了解,因此,本试验在诱变育种的基础上主要研究种苗大小对当归成药栽培生理生化特性及品质和产量的影响。旨在找出诱变育种后种苗大小与当归药材品质、产量的关系,为选育当归新品种在苗期选单株提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省定西市岷县禾驮乡石家台村,地理位置为北纬 N 34°0'26",东经 E 104°0'

收稿日期:2021-03-22 修回日期:2021-06-25

基金项目:国家自然科学基金(31560175、31360317);天士力现代中药资源有限公司委托项目-中药材当归及黄芪航天育种[XDZY-(2017)115、2019620005000036、2020620005000072];甘肃省现代农业中药材产业体系首席专家(GARS-ZYC-1);国家中医药管理局项目(ZYBZH-Y-GS-11)。

第一作者:刘宇晓,男,在读硕士,从事药用植物栽培与育种研究。E-mail:1120822772@qq.com

通信作者:郭凤霞,女,研究员,主要从事药用植物栽培与育种研究。E-mail:guofx@gsau.edu.cn

陈 垣,男,教授,主要从事药用植物栽培与育种研究。E-mail:chenyuan@gsau.edu.cn

01",属典型温带大陆性季风气候,海拔 2 800 m,年均降雨量 800 mm 左右,平均温度 4.7 ℃,4—10 月当归生长期平均温度 5.5 ℃。该区高寒阴湿,土壤类型为高山草甸土,肥沃疏松,适宜当归生长,是当归的主要道地产区^[5]。当归育苗采用熟地黄芪茬口育苗,整地时打碎土堡,清除石砾和杂草,耙平。

1.2 种苗来源

试验用材料为 2016 年航天诱变当归 2 a 生早期抽薹 SP2 代种子,经熟地黄芪茬口育成的种苗,由甘肃农业大学农学院陈垣教授鉴定为当归 [*Angelica sinensis* (Oliv.) Diels] 种苗。

1.3 当归成药栽培

当归成药栽培试验于 2020 年 4 月 27 日进行,前茬黄芪,种苗成药栽培采用单因素随机区组设计,首先参照甘肃省地方标准 (DB62/T 2549-2014) 和邱黛玉等^[14]对当归种苗的分级方法,将当归种苗分为 3 个大小等级 (表 1),然后将各级种苗采用覆黑膜穴栽,每处理重复 3 次,共 9 个小区,小区面积 3 m×6 m=18 m²。移栽穴距 40 cm,每穴 2 苗,每垄膜 4 行,小区间距 0.50 m,四周设 1 m 保护带。

表 1 当归种苗大小分级标准

Table 1 Size grading standard of *A. sinensis* seedlings

种苗级别 Seedling size	单苗质量/g Seedling mass	单苗根长/cm Root length	根粗/mm Root diameter
大苗 Big seedlings	1.6~2.0	13.1~16.0	6.1~7.5
中苗 Medium seedlings	0.8~1.5	10.1~13.0	4.1~6.0
小苗 Small seedlings	0.4~0.7	8.0~10.0	2.0~4.0

1.4 当归成药栽培期返青率、成活率及早期抽薹率测定

移栽后观察各级种苗返青动态,5 月下旬统计返青率,5—7 月份统计成活率,6—8 月统计早期抽薹率,5—10 月的每月中旬对植株的生长发育动态进行测量。

返青率=返青株数/移栽总苗数×100%

移栽成活率=成活株数/移栽总苗数×100%

早期抽薹率=早期抽薹株数/返青总株数×100%

1.5 当归成药栽培期地上部生长发育指标测定

2020 年 6 月 3 日当归返青后,随机挂牌定株,每重复 15 株,每处理共 45 株,测定当归株高、株幅、复叶数、叶柄粗、叶长、叶宽等地上部生长指标,以后每月测定 1 次,直到当归地上部枯萎。采

用卷尺测定株高和株幅 (精度 1/10 cm),采用数显游标卡尺测定茎粗 (精度 1/1 000 mm),数取单株叶片数。

1.6 当归叶片采集及抗逆生理指标测定

2020 年 7 月 5 日、8 月 25 日、9 月 26 日分别采集各处理长势一致、高度相同的当归中上部位叶片,采集后将当归叶片分别放入含有液氮的冰盒中,当天带回甘肃农业大学中草药栽培与鉴定实验室,放置 4 ℃ 冰箱,用于抗逆生理指标的测定。

参照 Guo 等^[15]的方法,脂质过氧化程度以丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 含量和组织自动氧化速率 (autoxidation rate, AR) 衡量,AR 测定 5 h 后的 MDA 含量,以每小时 MDA 含量的平均增加量来表示组织自动氧化速率。超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 活性采用氮蓝四唑 (nitro-blue tetrazolium, NBT) 光化还原法测定,以每分钟反应抑制 NBT 光化还原 50% 定义为 1 个酶活性单位 (U),过氧化物酶 (peroxidase, POD) 活性采用愈创木酚显色法测定,以在 470 nm 处每分钟酶活增加 1 为 1 个酶活性单位 (U),过氧化氢酶 (catalase, CAT) 活性采用紫外吸收法测定,以每分钟酶活减少 1 为 1 个酶活性单位 (U)。

1.7 当归药材农艺性状和产量的测定

2020 年 10 月 17 日为当归药材采挖期,每小区随机抽取 15 株,每处理共 30 株,测定药材根农艺性状,并对小区药材根计数,测定小区鲜药材产量,最后换算为每公顷鲜药材产量。

1.8 当归根部灰分和主要药用成分的测定

2020 年 10 月 20 日将所有当归药材统一阴干,阴干后,将各个小区的样品单独粉碎、混合均匀、过 2 号筛,之后测定其含量指标。

当归药材灰分、水分、浸出物、阿魏酸和藁本内酯等品质指标及成分含量测定参照《中华人民共和国药典》(2020 年版)。

1.9 数据统计

采用 Excel 2003 软件进行数据汇总和制图,用 SPSS 21.0 软件进行方差分析及显著性分析,多重比较采用 Duncan's 法。

2 结果与分析

2.1 种苗大小对当归物候特征的影响

由表 2 可见,不同等级种苗移栽后其返青率、

成活率和早期抽薹率均出现差异,但趋势均表现为大苗>中苗>小苗,其中,3 种种苗的返青率和成活率无显著差异($P>0.01$),大种苗返青率比中种苗和小种苗仅提高 1.75%和 2.90%,成活率比中种苗和小种苗提高 2.75%和 4.69%,但抽薹率却表现出极显著差异性($P<0.01$),大种苗较中种苗抽薹率增加 32.06%,较小种苗抽薹率增加 50.28%。

表 2 不同种苗大小当归物候特征

Table 2 Phenological characteristics of *A. sinensis* under different sizes of seedlings

种苗级别 Seedling size	测定日期/(月-日) Measured dates/(m-d)			
	04-25 移栽数 Plant numbers	06-20 返青率/% Re-greening rate	07-25 成活率/% Survival rate	08-07 早期抽薹率/% Early bolting rate
大苗 Big seedlings	179±3 aA	86.7±2.9 aA	76.8±2.1 aA	58.30±1.6 aA
中苗 Medium seedlings	192±2 bA	84.9±7.7 aA	74.0±5.5 aA	26.22±1.5 bB
小苗 Small seedlings	178±5 aA	83.8±5.7 aA	72.1±3.5 aA	8.00±1.3 cC

注:数据为“平均数±标准差”。同列不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Data are “mean±SD”. Different uppercase letters within the same columns indicate extremely significant difference($P<0.01$), different lowercase letters indicate significant difference($P<0.05$). The same below.

2.2 种苗大小对当归地上部生长指标的影响

由图 1 可知,当归群体生长的总体趋势在 8 月 25 日植株达到最大高度,之后开始逐步下降。当归大苗在 8 月 3 日之后开始快速增长,8 月 25 日达到最高值。8 月初,气温较高,雨水充沛,当归植株开始迅速生长,不断长出新叶片。8 月 25 日之后,天气逐渐变凉,老叶凋零。还可看出,大、中、小种苗苗生长的整体趋势相似,不同的是,大种苗的生长速度较快,小种苗

的生长速度缓慢,但都在 8 月 25 日前后达到最大值并且不再继续增高。株幅、叶柄粗、复叶数和叶面积的生长趋势均与株高的生长趋势大致相似,并且均是大种苗生长速度大于中种苗和小种苗。
2.3 种苗大小对当归成药栽培抗逆性的影响
2.3.1 种苗大小对当归成药栽培叶片 MDA 含量与组织自动氧化速率的影响 植物在逆境下产生的大量活性氧自由基会引起膜脂质过氧化,进而损伤膜系统,MDA是膜脂过氧化的最终产

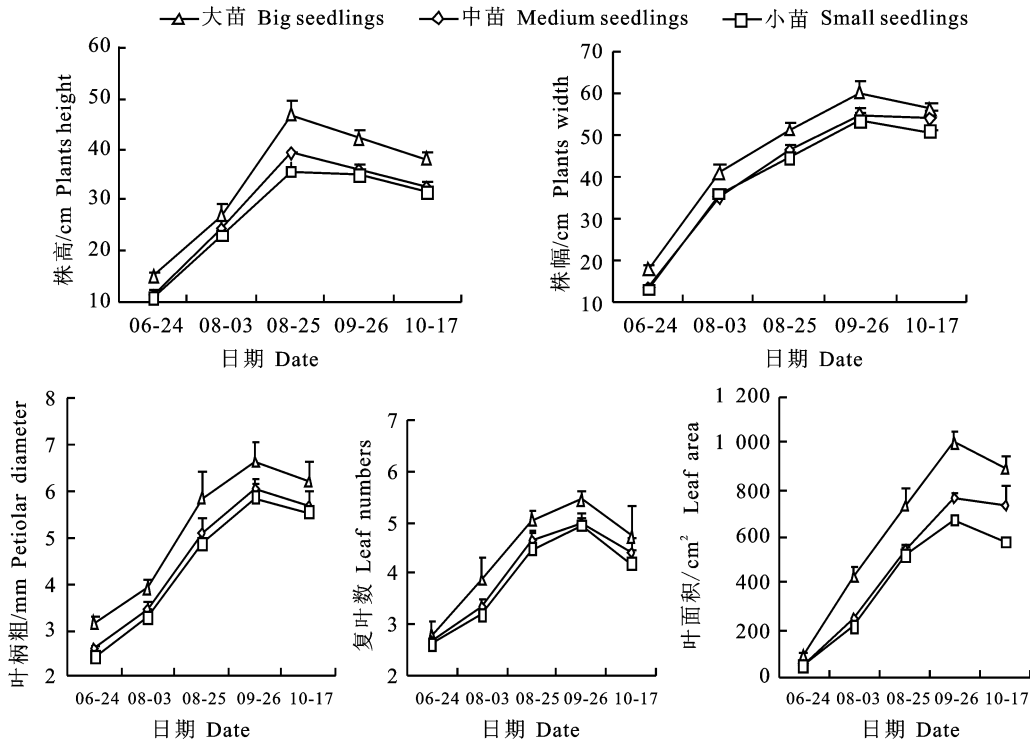


图 1 航天搭载不同大小当归种子育成种苗成药株生长动态的比较

Fig. 1 Comparison of growth dynamics of *A. sinensis* seedling with different sizes in space

物,浓度过高有毒害作用,但低浓度具有信号诱导生物体增强抗逆性的功能。由图 2 可知,在当归生长前期,大苗栽叶片 MDA 含量极显著高于中苗栽和小苗栽($P<0.01$),但组织自动氧化速率表现为大苗栽显著低于小苗栽($P<0.01$),与中苗栽无显著差异($P>0.05$);在当归生长中期,当

归叶片 MDA 含量与前期相似,组织自氧化率为中苗栽显著低于大苗栽与小苗栽($P<0.01$);在当归生长后期,当归叶片组织 MDA 含量明显增加($CV=35.32\%$),其中,小苗栽 MDA 含量高于同时期大苗栽与中苗栽当归,自动氧化速率低于同时期大苗栽与中苗栽当归。

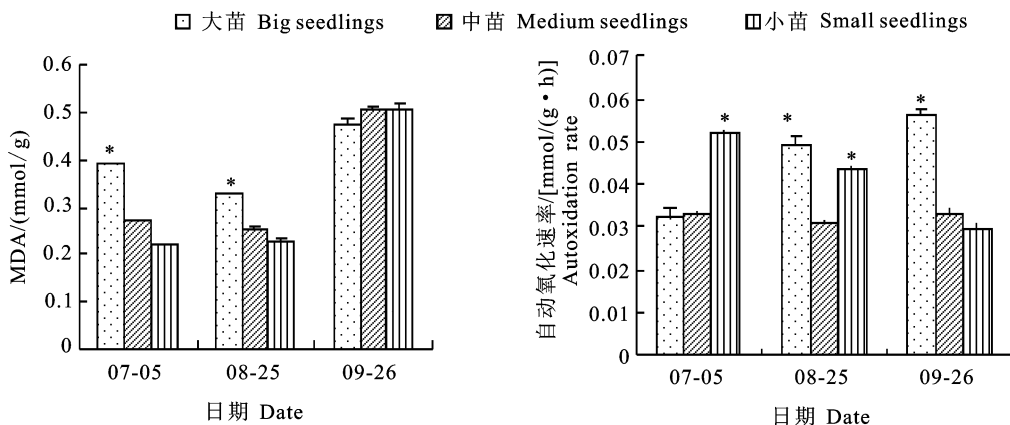


图 2 不同种苗大小当归成药栽培叶片 MDA 含量和自动氧化速率

Fig. 2 Content of MDA and automatic oxidation rate of *A. sinensis* under different sizes of seedlings

2.3.2 种苗大小对当归成药栽培叶片抗氧化酶活性的影响 不同种苗大小对当归叶片抗氧化酶活性具有一定的影响(图 3)。生长初期,大苗栽当归叶片 POD 和 SOD 活性最高,中苗栽与小苗栽活性较弱,彼此无显著性差异($P>0.05$),大苗栽当归叶片 CAT 活性高于小苗栽与中苗栽,但与中苗栽差异不显著($P>0.05$);生长中期,大苗栽当归叶片 POD 活性显著高于中苗栽与小苗栽,而小苗栽 SOD 活性高于大苗栽与中苗栽, CAT 活性三处理无显著性差异;在生长后期,同样大苗栽当归叶片 SOD 活性大于中苗栽大于小苗栽,而 POD 和 CAT 活性三处理基本持平,中苗栽 CAT 活性高于大苗栽和小苗栽,差异显著。这与当归的生长势有关,在生长前期,大苗栽当归生长发育态势强,生活力旺盛,而中苗栽与小苗栽当归生长发育缓慢,生活力较弱,在生长后期,大苗栽当归由于前期生长发育好而在后期生活力变弱,小苗栽与中苗栽当归却在后期仍具有生活力,因此其酶活性基本一致。

2.4 种苗大小对当归成药栽培品质指标及产量的影响

由表 3 可知,种苗大小对苗栽当归芦头长、芦头粗、根长、根粗、侧根数等根部形态无显著影响($P>0.05$),但对单株鲜质量、单根鲜质量以及根鲜产量具有显著影响($P<0.05$)。中苗栽当归单

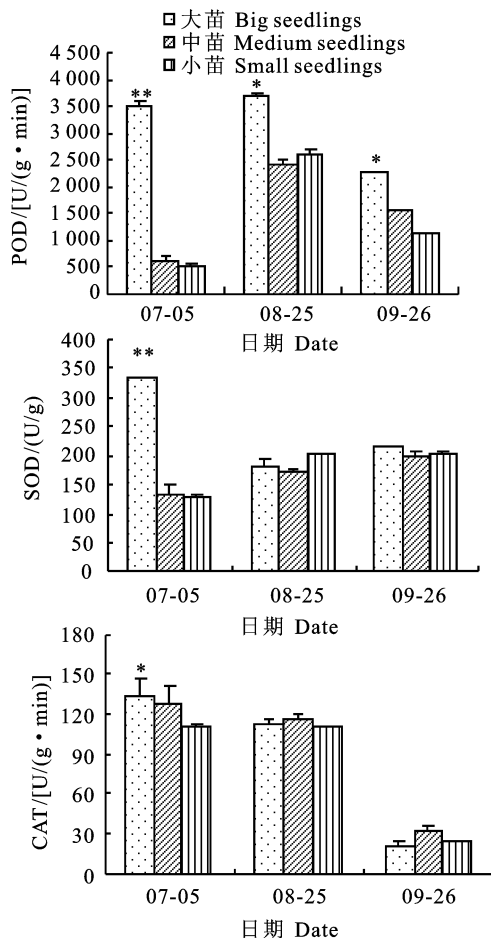


图 3 不同种苗大小当归成药栽培叶片抗氧化酶活性

Fig. 3 Antioxidant enzyme activities in leaves under different sizes of *A. sinensis* seedlings

株鲜质量最高($m=111.80\text{ g}$),但其单根鲜质量($m=81.81\text{ g}$)不及小苗栽($m=84.17\text{ g}$);大苗栽单株鲜质量最低($m=78.85\text{ g}$),这是因为大苗栽当归生长速度快,后期叶片衰老发黄后脱落严重,其地上部分鲜产量较低($m=19.53\text{ g}$),而中苗栽当归在生长后期生长态势较好,叶片干枯脱落少,地上部分鲜产量最高($m=29.99\text{ g}$, $P<0.05$);小苗栽当归的根单根鲜质量最大,其产量(6 382.46

kg/hm^2)也极显著高于大苗栽与中苗栽($P<0.01$),大苗栽当归产量最低,仅为 $1\,073.48\text{ kg}/\text{hm}^2$,可能由于大苗栽当归生殖生长强于营养生长,将土壤中的养分用于供给地上部分的生长,而小苗栽与中苗栽当归地上部分生长缓慢,将土壤中营养物质吸收后用于根部生长,营养生长强度大于生殖生长,因此小苗栽当归单根鲜质量与根鲜产量均最佳,中苗栽次之,大苗栽最低。

表 3 航天诱变当归不同种苗大小的药材农艺性状和产量

种苗级别 Seedling size	芦头长/cm Rhizome length	芦头粗/mm Rhizome diameter	根长/cm Root length	侧根数 Lateral roots	单株鲜质量/g Fresh mass per plant	单根鲜质量/g Fresh mass of single	鲜药材产量/ (kg/hm^2) Fresh medicinal yield
大苗 Big seedlings	2.84±0.24 aA	24.62±0.98 aA	29.41±0.66 aA	11.79±1.21 aA	78.85±7.86 bB	59.32±6.22 bB	1 073.5±283.5 bB
中苗 Medium seedlings	2.21±0.20 bA	24.93±0.89 aA	29.41±0.85 aA	10.73±0.63 aA	111.80±9.71 aA	81.81±8.01 aA	3 159.4±783.1 abA
小苗 Small seedlings	2.72±0.08 abA	23.50±0.81 aA	24.77±0.64 bB	11.43±1.01 aA	109.70±7.96 aA	84.17±6.89 aA	6 382.5±1 705.8 aA

2.5 种苗大小对当归成药栽培品质指标及含量的影响

由表 4 和图 4 可知,不同苗栽当归的品质与含量具有显著性差异($P<0.05$),大苗栽当归总灰分(7.13%)和酸不溶性灰分(2.06%)超过药典规定(2020 版, $<7.0\%$, $<2.0\%$),小苗栽和中苗栽当归总灰分和酸不溶性灰分都显著小于大苗栽且都符合药典规定($P<0.01$);浸出物含量都符

合药典规定($\geq 45\%$)但各苗栽当归差异显著($P<0.01$),小苗栽当归浸出物含量最高(51.13%),大苗栽和中苗栽浸出物含量较低,差异不显著($P>0.05$);阿魏酸和藁本内酯含量均为小苗栽最高(0.133%,1.409%),显著($P<0.01$)高于大苗栽(0.063%,0.630%)而与中苗栽(0.129%,0.123%)差异不显著($P>0.05$),但都符合药典规定($\geq 0.050\%$, $\geq 0.4\%$)。

表 4 航天诱变当归不同种苗大小成分含量

种苗级别 Seedling size	总灰分/% Total ash	酸不溶性灰分/% Acid-insoluble ash	浸出物/% Extract	阿魏酸/% Ferulic acid	藁本内酯/% Ligustilide
大苗 Big seedlings	7.13±0.04 aA	2.06±0.04 aA	47.52±0.88 bB	0.063±0.010 bB	0.630±0.152 bB
中苗 Medium seedlings	5.78±0.05 bB	1.40±0.23 bA	48.34±0.43 bAB	0.129±0.005 aA	1.230±0.010 aAB
小苗 Small seedlings	5.72±0.05 bB	1.52±0.16 abA	51.13±0.58 aA	0.133±0.010 aA	1.409±0.139 aA

3 讨论

3.1 合理选择种苗可以降低当归早期抽薹率

在当归生产中,第 1 年育苗,第 2 年移栽成药,将肉质根收获用作当归药材,如果要留种,则将第 2 年当归留株越冬,经春化作用后抽薹开花,但目前在当归生产中第 2 年就会出现早期抽薹现象,即 30% 以上的植株抽薹开花,严重者高达 70% 以上^[16],使当归根部木质化,成药少,有效成分含量低,成药生产效率低。本试验得出,小苗栽当归抽薹率较低,仅 7.97%,中苗栽当归抽薹率 26.22%,大苗栽当归抽薹率高达 58.25%,抽薹率高是大苗产量低的关键因素。但 3 类苗栽当归返青率和移栽成活率差异不显著($P>0.05$),大苗栽当归返青率为 86.68%,移栽成活率为

76.78%,中苗栽当归返青率为 84.93%,移栽成活率为 74.03%,小苗栽当归返青率为 83.78%,移栽成活率为 72.09%,这可能与当归种苗的抗逆性有关,大苗栽当归初期抗氧化活性好,MDA 含量低,膜脂过氧化速率慢,抗逆性好,可更好地适应生长环境,生长发育态势好,生存能力强,但小苗栽当归初期抗氧化酶活性低,MDA 浓度较高,植物产生了大量的活性氧自由基引起膜脂过氧化,苗栽当归抗逆性弱,生长发育态势较弱,返青率、移栽成活率较低,中苗栽当归介于两者之间,因此当归种苗越大返青率和移栽成活率越高,早期抽薹率也越高,在当归生产中合理选择种苗可以降低成药栽培当归早期抽薹率,提高农业生产效率,这与王兴政等^[17]、邱黛玉等^[14]研究结论相似,幼苗必须满足一定的营养物质水平才可能

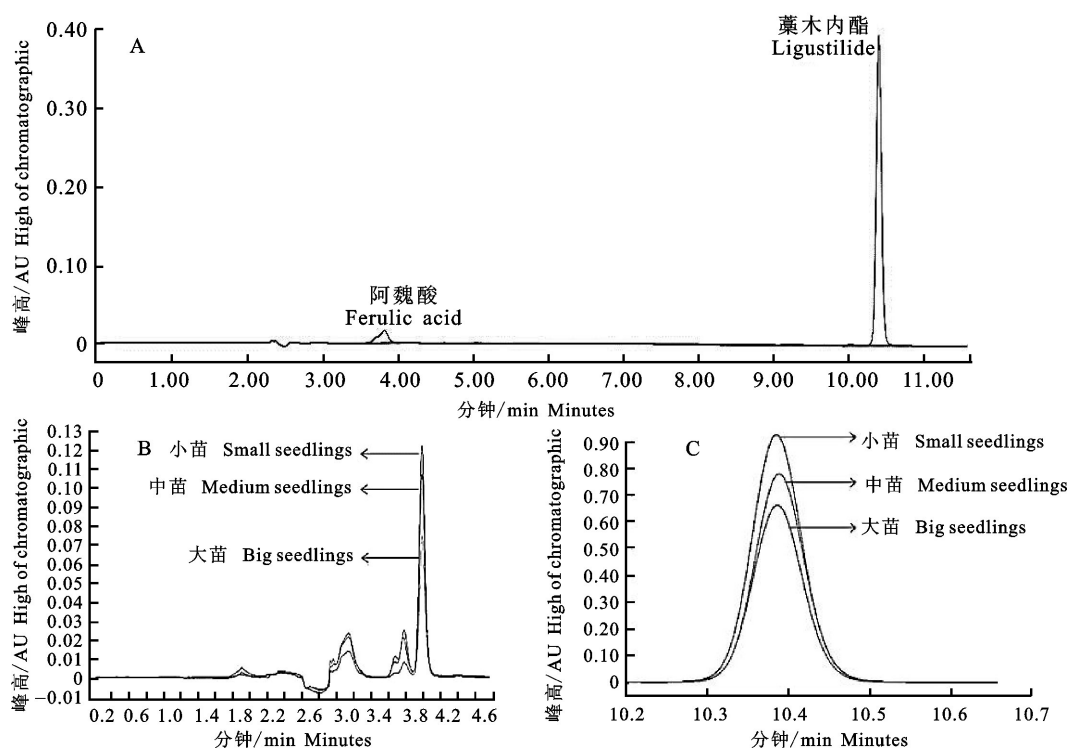


图4 为不同苗栽当归成药超高效液相色谱图,混合标准品色谱图(A);不同苗栽当归成药根的阿魏酸含量超高效液相色谱图(B);不同苗栽当归成药根的藁木内酯含量超高效液相色谱图(C)

Fig 4 the ultra performance liquid chromatograms of different seedlings of *A. sinensis*, the chromatograms of mixed standards(A); the ultra performance liquid chromatograms of ferulic acid content of different seedlings of *A. sinensis* roots(B); the ultra performance liquid chromatograms of ligustilide content of different seedlings of *A. sinensis* roots(C)

图4 航天搭载不同苗栽当归成药株超高效液相色谱图

Fig. 4 High performance liquid chromatography(HPLC) images of different varieties of *A. sinensis* carried by space flight

通过春化,所以种苗越大,苗龄越长,越具备春化条件,越易第2年正常通过光照阶段而提前抽薹开花。曾宇馨等^[18]通过文献计量学方法,辅以CiteSpace软件分析得出与当归早期抽薹有关的关键词主要有反季育苗、内外源激素、海拔、连作障碍、生物学特性等,因此引起当归早期抽薹的因素很多,不能在单一因素上彻底解决当归早期抽薹的问题,但可以通过育种,选育出抽薹率极低的品种,降低当归早期抽薹率,提高农业生产效率。

3.2 合理选择当归种苗可提高苗栽当归产量与品质

优质种苗来源是其药材品质和产量的基础保证^[19],当归产量由群体密度和单株根质量构成^[20]。本研究得出,种苗大小对苗栽当归芦头长、芦头粗、根长、根粗、侧根数等根部形态无显著影响($P>0.05$),但对单株鲜质量、单根鲜质量以及根鲜产量具有显著影响($P<0.05$)。尽管大苗栽当归芦头长、芦头粗、根长、根粗、侧根数等都优

于小苗栽当归,但其单根鲜质量却远不及小苗栽当归,这可能与当归木质化程度或根部含水量有关,大苗栽当归地上部分生长指标在个生长阶段都优于小苗栽当归与中苗栽当归,8月份抽薹率高达58.25%,木质化严重,在生长后期叶片枯萎,生活力下降,成木质根,影响次生代谢产物积累,而小苗栽与中苗栽当归生长发育缓慢,抽薹率低,根部木质化程度低,肉质根含水量多。因此,虽然各苗栽当归主要质量性状差异不显著($P>0.05$),但产量差异显著($P<0.01$),是由于小苗栽和中苗栽当归抽薹率低,根部木质化程度小,再加之该试验建立在航天诱变新品种选育的基础上,8月份当归早期抽薹后拔除抽薹株,使得单位面积大苗栽当归总株数小于中苗栽和小苗栽当归,产量差异更加显著。蔺海明等^[21]和刘新慧等^[22]认为一般将种苗根直径控制在0.3~0.5 cm,百苗质量控制在40~70 g其生产效率最高。而王兴政等^[15]认为小苗栽(苗质量 <0.3 g,芦头

粗 <0.28 cm)当归生活力弱,产量低,在实际生产中中苗栽当归最适宜农业生产;这可能由于本试验当归种苗来源与王兴政试验所用种苗来源不一致,本试验所用当归种苗来源于2016年航天诱变所育SP₂代种子所育种苗,航天诱变增强了同等级当归苗栽成药期植株对环境的适应性,因此在农业生产中选择当归苗栽时要综合种苗大小及活性等因素。

3.3 合理选择当归种苗可有效提高苗栽当归药用成分含量

当归主要有效成分为挥发油、阿魏酸、鞣质及多糖等^[23-24],阿魏酸和挥发油的含量是衡量当归内在品质的重要指标^[3],挥发油中藁本内酯的相对含量是当归内在品质的一个标志性成分^[25]。本研究得出,不同苗栽当归藁本内酯及阿魏酸含量均达到2020年版《中国药典》规定的限度。但不同苗栽当归的品质与含量具有显著性差异($P<0.05$),大苗栽当归总灰分(7.13%)和酸不溶性灰分(2.06%)超过药典规定(2020版, $<7.0\%$, $<2.0\%$),小苗栽和中苗栽当归总灰分和酸不溶性灰分都显著小于大苗栽,且都符合药典规定($P<0.01$);浸出物含量都符合药典规定($\geq 45\%$),但各苗栽当归差异显著($P<0.01$),小苗栽当归浸出物含量最高(51.13%),大苗栽和中苗栽浸出物含量较低,差异不显著($P>0.05$);大苗栽当归阿魏酸和藁本内酯含量最低,小苗栽当归阿魏酸(0.133%)和藁本内酯(1.409%)含量最高,中苗栽次之,当归种苗大小与当归成药阿魏酸和藁本内酯含量呈负相关,这是因为小苗栽当归生长发育速度缓慢,成药有效物质积累多,而大苗栽当归则在前期生长发育速度快,早期抽薹率高,当归从营养生长向生殖生长再到花形态建成,需要营养物质的积累^[17],因此根部营养物质积累少,有效成分含量低。杜弢等^[26]也研究得出小苗栽当归成药阿魏酸含量最高(0.076 2%),但其认为各等级苗栽当归成药株间的含量没有相关性,药材中阿魏酸的含量与种苗等级没有线性关系,因为大苗栽当归阿魏酸含量为0.073 6%,中苗栽当归为0.063 0%。发生此差异的原因可能是取样测定时的误差造成或者种苗来源和分级标准不一致所致。本试验所用种苗来源于航天诱变育种SP₂代种子所育种苗,因此其阿魏酸和藁本内酯含量远远超过药典标准,并且各级苗栽当归阿魏酸含量都大于杜弢等^[26]测定的当归阿魏酸的含

量,小苗栽当归更是其测定的2倍之多。这也表明航天诱变可以创造出较为优异的当归群体,在诱变育种中合理选择当归种苗可有效提高苗栽当归药用成分含量,为选择早期抽薹率低、抗逆性强、成药率高的优良当归新品种奠定良好的基础。

4 结 论

本研究中,大苗栽当归成药株表现出良好的生长发育态势,抗逆性强及膜脂过氧化程度低,但早期抽薹率高,成药率低。小苗栽当归成药株地上部前期生长发育缓慢,但地下根性状较好,单根鲜质量大,抽薹率低,单位面积产量高,中苗栽当归除了在生长后期生长势具有优势外,产量处于中间水平。综合来看,生产中选用小苗栽或中苗栽都能够降低当归苗栽成药株早期抽薹率,提高生产效率,但在本试验中,小苗栽当归成药株表现出优良的物候特征和成药特性,将是新品种选育的宝贵种质资源,可为当归航天诱变新品种选育奠定良好的基础以选择群体。

致谢:甘肃省定西市岷县郎银忠、李雪芳和贾哈柱提供试验地和种苗贮藏条件并协助田间管理;陇西县巩昌镇园艺村郭志军、郭天明、郭太平、郭爱伟和郭爱峰提供种子贮藏条件并协助田间管理及取样;甘肃农业大学硕士生葛鑫、陈永中、刘兰兰、周洋参与当归移栽及指标测定。在此一并表示感谢。

参考文献 Reference:

- [1] 汪燕平. 科学国药与近代当归“妇科圣药”的形成——兼论近代医药广告的作用[J]. 华中师范大学学报(人文社会科学版), 2020, 59(3): 130-141.
WANG Y P. Scientific national medicine and the formation of “gynecological holy medicine” of *Angelica sinensis* in modern times-and the role of modern medical advertising [J]. *Journal of Huazhong Normal University (Humanities and Social Sciences Edition)*, 2020, 59(3): 130-141.
- [2] 邱丽丽, 毛敏, 梅全喜, 等. 当归补血活血功效及其妊娠用药安全性考辨[J]. 时珍国医国药, 2017, 28(1): 157-160.
QIU L L, MAO M, MEI Q X, et al. Examination and debate on the efficacy of *Angelica sinensis* in tonifying blood and invigorating blood and its safety in pregnancy use [J]. *ShiZhengGuoYiGuoYao*, 2017, 28(1): 157-160.
- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 142.

- National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China, Part I [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020; 142.
- [4] 赵翔凤, 相光鑫, 王加锋, 等. 当归功效主治及用药禁忌的本草考证[J]. 中华中医药杂志, 2020, 35(5): 2479-2482.
- ZHAO X F, XIANG G X, WANG J F, *et al.* Efficacy of *Angelica sinensis* and contraindications of its use in herbal examinations [J]. *Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2020, 35(5): 2479-2482.
- [5] 杨 丽, 刘 洋, 陈建波, 等. 地道药材‘陇药’的形成与发展[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(24): 5513-5519.
- YANG L, LIU Y, CHEN J B, *et al.* The formation and development of the ‘Longyao’ of authentic medicinal herbs [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2019, 44(24): 5513-5519.
- [6] 王富胜, 宋振华, 王春明, 等. 当归新品种岷归 5 号选育及标准化栽培技术研究[J]. 中国现代中药, 2015, 17(10): 1044-1047.
- WANG F SH, SONG ZH H, WANG CH M, *et al.* Research on the selection and breeding of a new variety of *Angelica sinensis* Mingui 5 and standardized cultivation technology [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2015, 17(10): 1044-1047.
- [7] 李卫东, 崔清宇, 马长华, 等. 我国中草药航天育种研究进展与展望[J]. 中国现代中药, 2020, 22(3): 447-451, 460.
- LI W D, CUI Q Y, MA CH H, *et al.* Progress and prospects of space breeding research on Chinese herbal medicines in China [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2020, 22(3): 447-451, 460.
- [8] KORDYUM E L, CHAPMAN D K. Plants and microgravity: patterns of microgravity effects at the cellular and molecular levels [J]. *Cytology & Genetics*, 2017, 51(2): 108-116.
- [9] CHAO Y, WU X, XIAN G, *et al.* The complete chloroplast genome of *Medicago sativa* cv. Hangmu No. 1, a plant of space mutation breeding [J]. *Mitochondrial DNA Part B*, 2019, 4(1): 603-604.
- [10] XIONG H, GUO H, XIE Y, *et al.* RNAseq analysis reveals pathways and candidate genes associated with salinity tolerance in a spaceflight-induced wheat mutant [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 2731.
- [11] 单成钢, 王志芬, 苏学合, 等. 航天诱变黄芩种子对其 SP₁ 代的影响[J]. 核农学报, 2008(2): 188-191.
- SHAN CH G, WANG ZH F, SU X H, *et al.* Effect of aerospace mutagenesis of *Scutellaria baicalensis* seeds on its SP₁ generation [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2008(2): 188-191.
- [12] 王志芬, 苏学合, 闫树林, 等. 太空搭载桔梗种子 SP₁ 代的生物学效应研究[J]. 核农学报, 2004(4): 323-324.
- WANG ZH F, SU X H, YAN SH L, *et al.* Biological effects of space-borne *Platycodon grandiflorus* seeds in SP₁ generation [J]. *Journal of Nuclear Agriculture*, 2004(4): 323-324.
- [13] 郭巧英, 梁宗锁, 赵宏光, 等. 夏枯草农艺性状与其有效成分相关性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(7): 131-140.
- GUO Q Y, LIANG Z S, ZHAO H G, *et al.* Correlation study of agronomic traits and their active ingredients of Xiaquan Cao [J]. *Journal of Northwest Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2020, 48(7): 131-140.
- [14] 邱黛玉, 蒯海明, 方子森, 等. 种苗大小对当归成药期早期抽茎和生理变化的影响[J]. 草业学报, 2010, 19(6): 100-105.
- QIU D Y, LIN H M, FANG Z S, *et al.* Influence of seedling size on early seedling initiation and physiological changes of *Angelica sinensis* at the adult stage [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19(6): 100-105.
- [15] GUO F, ZHANG M, CHEN Y, *et al.* Relation of several antioxidant enzymes to rapid freezing resistance in suspension cultured cells from alpine *Chorispora bungeana* [J]. *Cryobiology*, 2006, 52(2): 241-250.
- [16] 栗孟飞, 康天兰, 晋 玲, 等. 当归抽茎开花及其调控途径研究进展[J]. 中草药, 2020, 51(22): 5894-5899.
- LI M F, KANG T L, JIN L, *et al.* Progress in the study of *Angelica sinensis* flowering and its regulatory pathways [J]. *Chinese Herbal Medicine*, 2020, 51(22): 5894-5899.
- [17] 王兴政, 蒯海明, 刘学周. 种苗大小对当归综合农艺性状及抽苔率的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2007(5): 59-63.
- WANG X ZH, LIN H M, LIU X ZH. Effect of seedling size on comprehensive agronomic traits and moss extraction rate of *Angelica sinensis* [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2007(5): 59-63.
- [18] 曾宇馨, 张 悦, 祝天添, 等. 当归早期抽茎的研究进展分析[J]. 中医药导报, 2020, 26(4): 105-108, 112.
- ZENG Y X, ZHANG Y, ZHU T T, *et al.* Analysis of the research progress on the early seeding of *Angelica sinensis* [J]. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2020, 26(4): 105-108, 112.
- [19] 米永伟, 蔡子平, 武伟国, 等. 播种量和方式对甘肃渭源蒙古黄芪育苗质量和产量的影响[J]. 草业学报, 2016, 25(7): 196-202.
- MI Y W, CAI Z P, WU W G, *et al.* Effects of seeding volume and method on seedling quality and yield of *Mongolian astragalus* in Weiyuan, Gansu [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(7): 196-202.
- [20] 漆琚涛, 许彩荷, 马占川, 等. 覆膜方式对当归成药期产量

- 构成的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(16): 115-118.
- QI J T, XU C H, MA ZH CH, *et al.* Effect of mulching method on yield composition of *Angelica sinensis* at the adult stage[J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2014, 20(16): 115-118.
- [21] 蔺海明, 邱黛玉, 陈 垣. 当归苗根直径大小对提前抽薹率及产量的影响[J]. 中草药, 2007(9): 1386-1389.
- LIN H M, QIU D Y, CHEN Y. Effect of root diameter size of *Angelica* seedlings on early seedling extraction rate and yield[J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2007(9): 1386-1389.
- [22] 张新慧, 张恩和, 王惠珍. 连作对当归药材挥发油含量的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2009, 21(2): 274-277.
- ZHANG X H, ZHANG E H, WANG H ZH. Effect of continuous cropping on the volatile oil content of *Angelica sinensis* herbs[J]. *Natural Products Research and Development*, 2009, 21(2): 274-277.
- [23] 王雁梅, 任京力, 朱吾元, 等. 不同炮制方式对当归中有效成分含量的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(7): 42-45.
- WANG Y M, REN J L, ZHU W Y, *et al.* Effect of different concoctions on the content of active ingredients in *Angelica sinensis* [J]. *Chinese Journal of Experimental Formulation*, 2014, 20(7): 42-45.
- [24] 严 辉, 张小波, 朱寿东, 等. 当归药材生产区划研究[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(17): 3139-3147.
- YAN H, ZHANG X B, ZHU SH D, *et al.* Study on zoning of *Angelica* herbal production[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2016, 41(17): 3139-3147.
- [25] 李 军, 高素芳, 李应东, 等. 当归根中阿魏酸和藁本内酯对海拔的响应研究[J]. 甘肃中医学院学报, 2014, 31(4): 23-26.
- LI J, GAO S F, LI Y D, *et al.* Study on the response of ferulic acid and ligustrolactone in *Angelica* roots to altitude [J]. *Journal of Gansu College of Traditional Chinese Medicine*, 2014, 31(4): 23-26.
- [26] 杜 弢, 郭增祥, 王惠珍, 等. 当归种苗等级与植株生物量积累及药材质量的关系[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(19): 2870-2874.
- DU T, GUO Z X, WANG H ZH, *et al.* Relationship between seedling grade and plant biomass accumulation and herb quality of *Angelica sinensis* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2012, 37(19): 2870-2874.

Effect of Seedlings Sizes by Space Mutagenesis on Phenology, Stress Physiological Characteristics and Medicinal Yield of *Angelica sinensis*

LIU Yuxiao¹, GUO Fengxia¹, CHEN Yuan^{1,2}, WANG Hongyan¹,
JIAO Xusheng¹, JIN Jianqin¹ and LIU Xiaofeng¹

(1. College of Life Sciences and Technology, College of Agronomy, Gansu Agricultural University/ Gansu Provincial Key Laboratory of Good Agricultural Production for Traditional Chinese Medicines/Gansu Provincial Engineering Research Centre for Medical Plant Cultivation and Breeding/Gansu Provincial Key Lab of Aridland Crop Science, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Tasly Zhongtian Pharmaceutical Co., Ltd, Gansu Engineering Lab of Resource Reservation and Utilization for Characteristic Medical Plants/ Gansu Cultivated Engineering and Technology Research Center of Standardization and Traceability for Characteristic Chinese Medicine, Dingxi Gansu 748100, China)

Abstract In order to explore the mutagenic effects of space flight on the medicinal properties of *A. sinensis*, the effect of seedling size on the phenological characteristics, stress-resistant physiological characteristics, agronomic traits and yield of *A. sinensis* was investigated during the medicinal period by transplanting seedlings from space flight-mutagenized *A. sinensis* seeds in a graded manner. The results showed that: 1. The bigger the seedling was, the higher the rate of regreening, transplanting survival rate and early bolting rate were, the better the early growth and development situation were, the excellent growth and development indexes such as plant height, plant width, petiole diameter, number of compound leaves, and leaf area were shown; 2. The seedling size had a significant impact on the degree of membrane lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity in the long-term growth of *A. sinensis*, and the antioxidant system of early seedling was stable; 3. The seedling size had a significant effect on the yield of *A. sinensis*, the yield of small seedling was the highest (6 382. 46 kg/hm²), middle seedling was the second (3 159. 44 kg/hm²), and big seedling was the lowest (1 073. 48 kg/hm²). It can be seen that aerospace mutagenesis breeding has a greater impact on the phenological characteristics, stress resistance, yield and quality of *A. sinensis* seedlings; because the small seedlings have higher yield and excellent quality after being transplanted, so it can be selected for transplantaion in the after ward research and production.

Key words *Angelica sinensis* seedling; Cultivation; Space-flight breeding; Early bolting; Ferulic acid

Received 2021-03-22

Returned 2021-06-25

Foundation item National Natural Science Foundation of China (No. 31560175, No. 31360317); the Commissioned Project of Tianshili Modern Chinese Medicine Resources Co, Ltd -Space Breeding of Chinese Materia Medica Angelica and Astragalus [No. XDZY-(2017)115, No. 2019620005000036, No. 2020620005000072]; Modern Agricultural Chinese Materia Medica Industry System of Gansu Province (No. GARS-ZYC-1); State Administration of Traditional Chinese Medicine Project (No. ZYBZH-Y-GS-11).

First author LIU Yuxiao, male, master student. Research area: cultivation and breeding of medicinal plants. E-mail: 1120822772@qq.com

Corresponding author GUO Fengxia, female, research fellow. Research area: cultivation and breeding of medicinal plants. E-mail: guofx@gsau.edu.cn

CHEN Yuan, male, professor. Research area: cultivation and breeding of medicinal plants. E-mail: chen yuan@gsau.edu.cn

(责任编辑: 潘学燕 Responsible editor: PAN Xueyan)