

当归种子航天诱变一代(SP₁)的成药性能

刘宇晓¹, 郭凤霞¹, 陈垣^{1,3}, 刘金印¹, 陈永中¹, 金建琴¹, 许宏亮²

(1. 甘肃农业大学生命科学技术学院, 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, 甘肃兰州 730070; 2. 天津市现代中药资源研究企业重点实验室, 天津天士力现代中药资源有限公司, 天津 300410; 3. 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: 早期抽薹和根腐病严重影响当归的栽培成效, 为了探寻航天搭载对当归 SP₁ 代成药特性的诱变效应, 将当归种子搭载“长征七号”和“神舟十一号”飞船, 在太空分别历时 22 h 和 33 d, 返回地面后大田有机育苗栽培。结果表明: 与对照(CK)种子相比较, 神舟 33 d 和长征 22 h 处理的当归种子育成 SP₁ 种苗移栽后返青率分别显著提高 24.0% 和 14.9%。成药期 CK 返青株早期抽薹率和死株率高达 40.2% 和 26.8%, 33 d 和 22 h 群体的早期抽薹率较 CK 分别极显著提高 29.7% 和 21.4%, 死株率分别显著降低 26.8% 和 16.0%, 种苗成药率各处理依次为 33 d(26.0%) > 22 h(21.4%) > CK(20.8%); 33 d 和 22 h 群体株高、株幅和茎粗始终显著高于 CK, 单株叶片数与 CK 相当; 当归阿魏酸含量依次为 22 h(0.12%) > 33 d(0.11%) > CK(0.10%), 浸出物含量依次为 33 d(57.90%) > CK(54.10%) > 22 h(51.30%)。说明航天搭载当归种子在诱导有利变异的同时也可诱导不利于生产的变异, 但创造了抗逆性强的优异变异群体, 奠定了新品种选育的宝贵种质资源, 并拓展了新品种选育途径; 根病和早期抽薹是造成当归成药率很低的主要原因, 迫切需要品种进行提纯复壮和选育改良。

关键词: 当归种子; 航天诱变; 成药期; 返青; 早期抽薹

中图分类号: S567.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2022)01-0119-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2022.01.016



伞形科植物当归(*Angelica sinensis*)的干燥根, 有浓郁的香气, 味甘、辛、微苦, 有补血活血, 调经止痛, 润

肠通便等功能, 主治血虚萎黄, 眩晕心悸, 月经不调等症^[1], 已被列入既是食品又是中药材的物质(食药物质)目录(食品安全标准与监测评估司 2019 年第 8 号)。甘肃省岷县一带是当归的传统优质道地主产区, 气候寒冷阴湿, 被推介为“中国当归之乡”, 药材世称岷归, 产品享誉海内外^[2]。当归野生资源已趋濒危^[3], 药源以栽培品种为主^[4]。由于当归为多年生植物, 当归地上部分生长繁茂, 产草量大, 是高寒区农牧交错带的重要药饲兼用型优良品种, 在高寒农牧区土壤改良中发挥了积极作用。

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^[5], 随着种植年限的延长, 品种退化明显, 表现为早期抽薹率高, 根病严重, 成药率很低。尽管有研究者^[5]开展了当归新品种选育研究, 选育的岷归系列品种早期抽薹率为 13.9%~19.1%, 麻口病率

收稿日期: 2020-12-10; **修回日期:** 2021-03-26

基金项目: 国家自然科学基金地区基金(31560175、31360317); 天士力控股集团委托研究课题(XDZY-(2017-2018) 115、2019620005000036、202062000500072); 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-当归等四种中药标准化研究(ZYBZH-Y-GS-11)

作者简介: 刘宇晓(1995-), 男, 山西右玉人, 硕士研究生。

E-mail: 1120822772@qq.com

郭凤霞为通信作者。

E-mail: guofx@gsau.edu.cn;

陈垣为通信作者。E-mail: chenyan@gsau.edu.cn

为 27.9%~45.0%，病情指数为 9.3%~18.3%，但实际成药率只有 35.9%~58.2%，且这些新品种尚处于繁种阶段。当归正常种子为 3 年生植株的种子^[6-7]，2 年生植株抽薹称为早期抽薹，根部木质化不能入药^[8]，所结种子称为火药籽，用火药籽育苗其后代早期抽薹率更高。正常成熟种子也唯有成药性能好且抗病性强的个体才能成药和繁种，纯有机栽培可显著提高当归成药率^[8]。

航天诱变育种是通过将植物种子搭载宇宙飞船或返回式卫星，利用航天中的强辐射、微重力、高真空和弱磁场等使种子性状发生变异，然后从中选育出具有优良特性种子的现代育种新技术^[9-12]。太空中的微重力等因素能够影响植物细胞质膜、转录组和蛋白质组、细胞壁和 Ca^{2+} 信号传导状态^[10]，不仅能诱导出长势旺盛的植株，而且还可提高产量和品质，这对侧重于性状特异性选育的药用植物育种来讲应用潜力巨大^[9]。利用太空诱变选育中药材品种已初步应用^[13-24]，但至今对航天诱变当归品种选育的研究报道很少。近年来，受全球气候变暖影响，加上连作重茬，化肥投入比增大，当归早期抽薹率更高，根病加重，成药率更低^[8-9]，严重影响了药农栽培当归的经济效益，而生产上早期抽薹率低、抗病性高的高产优质当归品种极其缺乏。有机种植是在种植过程中完全使用自然原料投入的种植方法，有机肥替代化肥是药用植物栽培发展的必然趋势^[25]，选育适宜生态有机栽培的当归优良新品种是道地药材当归可持续发展的战略目标。因此，在有机栽培条件下探索当归航天诱变新品种选育途径具有重要意义。本研究对航天搭载的当归种子 SP_1 的生长发育状况和药材活性成分进行测定，以期选育符合育种目标的当归新品种。

1 材料和方法

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 $\text{N } 34^{\circ}25'36''$ ， $\text{E } 104^{\circ}16'03''$ ，属典型高寒阴湿区，海拔 3 186.75 m，年均降水量 600~800 mm，平均温度 4.7°C ，4—10 月当归生长期平均温度 5.5°C 。土壤类型为高寒草甸土，土质肥沃疏松，适宜当归生长和繁育，是当归主要道地产区^[2,4]。

1.2 种子来源及航天搭载

供试当归种子 2015 年 8 月 10 日采自岷县当归地

方农家品种 3 年生种株，由甘肃农业大学农学院陈垣教授鉴定。

根据航天搭载要求，由天士力控股集团医药集团股份有限公司委托国家航天局搭载“长征七号”运载火箭发射的货运飞船和长征二号运载火箭发射的“神舟十一号”载人飞船对应载种器。

长征七号返回舱于 2016 年 6 月 26 日返回，在太空运行 22 h，携带当归种子 20 g，编号为长征 22 h (22 h)。“神舟十一号”于 2016 年 10 月 17 日 7:30 在酒泉卫星发射中心由长征 2 号运载火箭发射，2016 年 11 月 18 日 13:59 返回舱在内蒙古中部着陆，历时 33 d，携带当归种子 100 g，编号为神舟 33 d (33 d)。返回地面后种子均在低温 4°C 干燥条件下贮藏^[7]。

1.3 航天搭载当归种子播种育苗

育苗前清选种子，除去果柄和残留物，计取粒数。留样后播种，种子播种量和种子数详见表 1。种子于 2017 年 6 月 2 日在岷县高寒草甸生荒地地进行播种，处理有 3 个，即长征 22 h 和神舟 33 d 当归种子，未搭载种子 (CK)。播种前结合整地捡拾杂草，施有机肥 $1\ 800\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ，小区间距 0.75 m，中间起埂相隔，各处理坡度和土壤条件一致，小区长 4.5 m，小区宽按种子量确定。为严防品种混杂，每个处理集中播种，自西向东依次播种 CK_1 、33 d、22 h 和 CK_2 当归种子。 CK_1 和 33 d 小区面积均为 $4.5\ \text{m}^2$ ($4.5\ \text{m} \times 1.0\ \text{m}$)，小区播种量均为 30 g；22 h 和 CK_2 面积均为 $0.75\ \text{m}^2$ ($1.5\ \text{m} \times 0.5\ \text{m}$)，小区播种量均为 6 g，播后覆盖麦草保墒，田间管理均一致^[7]。育苗期悬挂生态黄板防虫，采用鼠夹严防鼠害，7 月每小区撒施草木灰 ($300\ \text{kg}/\text{hm}^2$) 1 次，其他管理同大田，共除草 5 次。

2017 年 10 月 7 日采挖种苗，裹鲜土扎把并挂牌标记，装入尼龙网袋窖藏越冬。每处理装 1 袋，分别编号为 CK、航天群体一代种苗 (Space population, SP_1) 33 d 和 22 h，越冬贮藏种苗数详见表 1。

1.4 航天搭载当归种子育成 SP_1 种苗移栽

移栽前剔除病烂苗，移栽种苗数详见表 1。种苗于 2018 年 4 月 7 日移栽，移栽采用单因素试验方案，随机区组设计，2 次重复，共 6 个小区，小区间距 0.8 cm，拉线起埂相隔，小区内拉线划行穴栽，行距 40 cm，每穴栽 1 株，株距 30 cm。试验地结合整地均匀撒施草木灰 $300\ \text{kg}/\text{m}^2$ ，有机肥 $1\ 800\ \text{kg}/\text{m}^2$ 。按照大田管理每隔 20 d 中耕锄草 1 次，共除草 5 次，全生育期不

表 1 当归种子播种量和育成种苗数

Table 1 Sowing amount and seedlings number of *A. sinensis* seeds

处理	种子播种量/g	播种种子数/粒	育成种苗数	越冬成活苗数	成苗率/%	越冬率/%
CK	36	2 752	186	55	6.8	29.6
33 d	30	1 944	217	114	11.2	59.6
22 h	6	404	171	102	42.3	52.5

施用化肥和农药,采用生态黄板防虫,鼠夹防鼠,7月每小区追施草木灰(300 kg/hm²)1次。

1.5 当归成药栽培期个体物候和生长发育指标测定

当归移栽后观察各小区种苗返青动态,每月中旬统计返青株和早期抽薹株数,药材采挖期统计成药株数和返青死亡株数,最后计算返青率、早期抽薹率、返青成药率、返青死株率和种苗成药率^[4,6-7]。返青结束,每小区随机选择 15 株挂牌标记,每处理 30 株,对照越冬成活种苗少,全部测定。在 5—10 月每月中旬测定植株生长指标。株高和株幅用卷尺测定(精度 1/10 cm),茎粗用数显游标卡尺测定(精度 1/100 mm)。株高是根茎基部至顶部的距离,株幅为植株地上部展开所能形成的最大宽度,茎粗为根茎基部直径^[6-7]。

返青率=(返青株数/移栽总苗数)×100%

早期抽薹率=(早期抽薹株数/返青总株数)×100%

返青成药率=(成药株数/返青总株数)×100%

返青后死株率=[(返青株数-早期抽薹株数-成药株数)/返青总株数]×100%

种苗成药率=(成药株数/移栽总苗数)×100%

变异系数(CV)=(标准差 SD/平均数)×100%

由于当归以根入药,早期抽薹后地上部生长难以区分品种间有利变异的差异性,因此,按返青结束早期抽薹未发生前计算各处理生长指标的变异系数。

1.6 当归药材活性成分测定

当归采挖后参照《中国药典》^[1]去除泥土和须根,揉制晾干^[7]。浸出物含量参照(通则 2201)热浸法测定,用 70%乙醇作为溶剂^[1]。当归阿魏酸含量参照高效液相色谱法(通则 0512)测定,色谱条件以乙腈—0.085%磷酸溶液(17:83)为流动相;柱温 35℃,检测波长为 316 nm^[1]。

1.7 数据统计分析

采用 Excel 2007 进行数据整理和制图,生长指标的平均数差异性检验采用 *t* 检验。表中数据为平均数

±标准差 SD,图中数据点为平均数±标准误 SE。

2 结果与分析

2.1 航天诱变对当归种苗返青和早期抽薹的影响

不同处理当归种子成苗率差异性很大(表 1),普通种子成苗率仅 6.8%,而航天搭载神舟 33 d 和长征 22 h 种子分别为 11.2%和 42.3%,分别较未搭载普通种子提高 4.4%和 35.6%。种苗越冬率差异性更大,对照为 29.6%,22 h 和 33 d 分别为 59.6%和 52.5%。说明当归成苗率很低,航天搭载有利于提高成苗率,搭载 22 h 诱导(长征七号太空条件)效应更为明显。

不同处理当归种子育成种苗移栽返青后,航天搭载当归群体的返青率和早期抽薹率均显著高于 CK(表 2),与 CK 相比较,33 d 和 22 h 返青率分别提高 24.0%(*t*=5.58, *P*<0.05)和 14.9%(*t*=3.43, *P*<0.05),早期抽薹率分别提高 29.7%(*t*=9.56, *P*<0.01)和 21.4%(*t*=4.43, *P*<0.05)。航天诱变群体的返青株成药率略低于 CK,但差异不显著(*P*>0.05)。33 d 返青株的死株率较 CK 极显著降低 26.8%(*t*=15.00, *P*<0.01),22 h 的死株率较 CK 显著降低 16.0%(*t*=7.12, *P*<0.05)。各处理返青率和早期抽薹率高低次序均为 33 d>22 h>CK,而返青株成药率和死亡率均为 CK>22 h>33 d,最终使种苗成药率依次为 33 d>22 h>CK(表 2)。

2.2 航天诱变对当归返青株生长的影响

神舟 33 d 和长征 22 h 当归种子育成种苗移栽后,成药栽培期返青株群体与 CK 的生长指标整体变化趋势相似(图 1),返青植株在 8 月中旬前持续增高和展开,株冠达到最大,并不断长出新叶,在 6 月下旬已进入丛叶期,基部茎粗在 7 月中旬已达到最大。8 月中旬后植株不再增高和扩展,功能叶维持相对稳定状态直到 9 月下旬,成药株进入根部营养积累转化期,10 月上旬老叶枯黄脱落。

表 2 当归种苗的返青率和成药率

Table 2 Turning green rate and medicinal rate of *A. sinensis*

处理	返青率/%	返青株			种苗成药率%
		早期抽薹率 E /%	成药率/%	死株率/%	
CK	62.5±1.9 ^{bA}	40.2±3.8 ^{cB}	33.0±6.3 ^{aA}	26.8±2.5 ^{aA}	20.8±5.9 ^{aA}
33 d	86.5±1.5 ^{aA}	69.9±2.2 ^{aA}	30.0±2.2 ^{aA}	0 ^{cC}	26.0±1.5 ^{aA}
22 h	77.4±1.7 ^{aA}	61.6±5.7 ^{bA}	27.7±3.8 ^{aA}	10.8±1.9 ^{bB}	21.4±3.4 ^{aA}

注:表中数据为平均数±标准差,同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), $n=2$ 。下同

神舟 33 d 和长征 22 h 的当归返青株均较 CK 株生长快,生长量大(图 1)。4 月上旬返青期 33 d 和 22 h 返青株分别较 CK 增高 0.54 cm($t=1.73$, $P>0.05$)和 0.05 cm($t=0.10$, $P>0.05$),株幅分别增大 0.39 cm($t=3.39$, $P>0.05$)和 0.39 cm,茎粗和叶数与 CK 的差异均不显著。6 月开始生长差距拉大,6 月下旬 33 d 和 22 h 较 CK 植株分别极显著增高 8.34 cm($t=5.59$, $P<0.01$)和 7.31 cm($t=5.06$, $P<0.01$),此后

诱变群体迅速生长,在 8 月中旬均达到最大值并趋于稳定,而 CK 在 9 月上旬趋于稳定。当归诱变群体茎粗的迅速生长期较 CK 提早 20 d 左右,并且快速增长的时间比 CK 延长。植株叶片迅速增多主要有 2 个时期,第 1 个时期为 5 月上旬至 6 月下旬,叶片数依次为 33 d>22 h>CK,第 2 个增长期为 7 月上旬至 8 月中旬,叶片数依次为 CK>22 h>33 d,但茎粗和叶片数的差异三者均未达到显著水平($P>0.05$)。

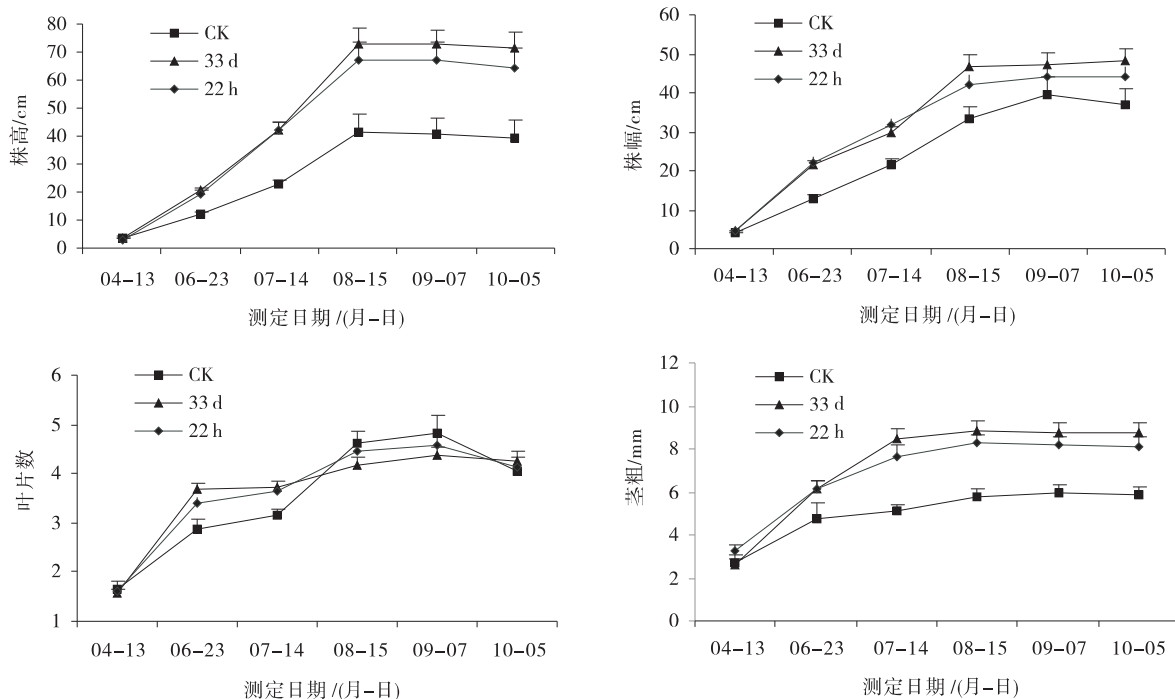


图 1 当归种苗成药期植株生长动态

Fig. 1 Plant growth dynamics of *A. sinensis* seeding in medicinal stage

各处理返青期形态指标的变异系数显示(表 3),当归返青期株高和株幅的 CV 依次为 22 h>33 d>CK,叶片数的 CV 依次为 33 d>CK>22 h,茎粗的 CV 依次为 CK>22 h>33 d。各指标平均 CV 依次为茎粗>株幅>株高>叶片数,22 h 和 33 d 群体株高和株幅的 CV 均高于 CK,33 d 群体叶片数的 CV 最大。

说明太空诱变使当归株型发生改变,株高和株幅诱变效应更大,创造优异变异群体的几率更高,这从生长动态变化趋势也可得到验证(图 2),也与早期抽薹率统计的结果相似(表 1,表 2)。太空诱变使茎粗趋于更稳定,因为 CK 茎粗的 CV 最大,也说明岷归地方农家群体中个体的差异性较大。

表 3 SP₁代种苗成药期植株生长指标的变异系数Table 3 Coefficient of variation *A. sinensis* plant

index in medicinal stage

处理	测定株数	变异系数/%			
		株高	株幅	叶片数	茎粗
CK	15	20.49	27.68	29.5	73.36
33 d	83	25.73	30.06	32.5	40.01
22 h	65	44.21	35.56	22.6	40.96

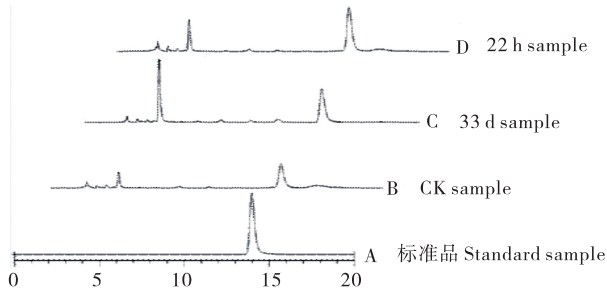


图 2 成药根阿魏酸 HPLC 色谱图

Fig. 2 HPLC chromatogram of ferulic acid in *A. sinensis* medicinal stage

2.3 航天诱变对当归药材主要成分含量的影响

33 d 和 22 h 的 SP₁ 药材样品和 CK 药材样品在测定时间段内均出现多个峰且峰数基本一致, 33 d 和 22 h 的对应峰均较 CK 面积大, 22 h 药材样品的阿魏酸峰值最高(图 2)。在 0~10 min 以 33 d 的峰面积最大, 22 h 次之, CK 均最小。对当归药材活性成分的组成影响不大(表 4)。

表 4 药材根主要成分

Table 4 Main components of *A. sinebsis*

medicinal root

样品来源	浸出物含量/%	阿魏酸含量/%
中国药典标准	≥45.0	≥0.05
CK	54.1±6.2 ^a	0.10±0.02 ^a
33 d	57.9±1.5 ^a	0.11±0.01 ^a
22 h	51.3±1.1 ^a	0.12±0.02 ^a

不同太空诱变时间对当归药材主要成分含量的影响虽未达到显著水平, 但均不同程度诱导当归药材主要成分含量发生变化(表 4), 阿魏酸含量从高到低依次为 22 h>33 d>CK, 搭载 33 d 和 22 h 当归药材阿魏酸含量较 CK 分别提高 0.01%($P>0.05$)和 0.02%($P>0.05$)。33 d 药材的浸出物含量最高, 较 CK 提高 3.8%, 22 h 较 CK 的浸出物含量降低 2.8%。

3 讨论

3.1 航天搭载当归种子增强了当归 SP₁ 代的抗逆性和繁殖力

当归多年栽培成药, 第 1 年种子育苗, 第 2 年成药栽培, 第 3 年繁种^[4]。成药期早期抽薹也是当归在极端环境条件胁迫下通过自我繁殖进行生态补偿的表现^[8]。根腐病、麻口病等土传病害与当归连作重茬自毒和土壤病原微生物的富集有关, 道地产区土地面积积极其有限, 单一化种植为病原物的积累和传播扩散创造了条件。目前早期抽薹和根病成为限制当归栽培成效的主要因子, 早期抽薹率高达 40% 以上^[5-8]。新选育的岷归系列新品种因早期抽薹和麻口病造成的实际成药率也只有 35.9%~58.2%, 本课题组在产区大田调查农家地方品种早期抽薹率和死株率均在 40% 以上。本研究发现, 航天搭载当归种子其 SP₁ 代个体株型发生明显变化, 普遍增强了存活个体的抗逆性和繁殖力, CK 种子的成苗率仅 6.8%, 而航天搭载 33 d 和 22 h 种子的成苗率分别较 CK 种子提高 4.4% 和 35.6%, 这也揭示了普通当归种子成苗率低的生产现实, 航天搭载有利于提高种子的成苗率, 长征 22 h 诱变正向效应更为明显。另外, 成药栽培期 CK 群体返青率仅为 62.5%, 早期抽薹率为 40.2%, 神舟 33 d 和长征 22 h 处理当归群体的返青率分别提高到 70% 以上, 早期抽薹率分别提高到 60% 以上, 返青后死株率却降低 20% 左右, 使当归种苗成药率均维持在 20.0% 以上, 留地健壮的成药株为下一年的繁种和建立优异变异群体奠定了良好基础。由于种苗移栽后的返青率是反映植株对环境适应性和抗逆性的主要指标, 田间发现越冬死苗和未返青苗一般都是根病引发腐烂死亡, 说明经过太空诱变后的当归成活个体株增强了对环境的适应性和应激能力, 从而提高了极端环境条件下的存活率。太空诱导当归早期抽薹率的提高也进一步说明太空诱变增强了存活个体的熟性分配比率和年际间个体繁衍配比, 增强了物种的生态适应性, 由于早期抽薹株无法形成正常肉质根, 不利于农业生产, 进一步揭示太空诱变具有双向诱导效应, 带来有利正向变异的同时也带来不利于农业生产的反向变异。

3.2 航天搭载当归种子促进了当归 SP₁ 个体的生长发育

航天诱变有扩大黄芩 (*Scutellaria baicalensis*) 各

性状变异谱的作用^[13],使决明(*Cassia obtusely*)农艺性状表现出丰富的遗传多样性^[18]。总体来看,航天搭载黄芩^[13]和桔梗(*Platycodon grandiflorum*)^[14]对其 SP₁ 代的负效应大于正效应。这与本研究中航天搭载 33 d 和 22 h 当归种子育成 SP₁ 种苗移栽后,其成药群体株高和株幅的 CV 增大的结果较为一致。不同的是,返青株群体的株高、株幅和茎粗较 CK 显著提高,说明太空诱变对当归成药期生长具有正向诱导效应,生长更旺盛,植株高大,可能是当归等多年生药用植物在育苗期和越冬返青期已将诱变受损的不利基因型自然淘汰的缘故,另外早期抽薹株比例的增大也是造成其群体生长势增强的原因。航天搭载 33 d 和 22 h 群体成药期生长前期的叶片数的增长速度比 CK 快,但后期较 CK 慢,说明太空诱变影响了当归植株叶片的时空异速增长,返青后植株迅速抽枝散叶,首先占据优势生态位,而对照则在返青后经历了一段时间的环境适应性,后期才迅速生长,这一结果从其他药用植物的研究也可以得到印证,经航天诱变后药用植物决明^[18]和丹参^[19]植株的生长势明显优于对照品种,均表现为促进作用,而在黄芩^[13]和桔梗^[14]上却表现为抑制作用,这可能是由于复杂的空间环境因素对种子的诱变作用因物种的不同而异,不同基因型植物种子对太空诱变的敏感程度也会有一定的差异。航天诱变后二色胡枝子(*Lespedeza bicolor*)变异系数较对照提高 30%~70%^[20]。本研究中,航天诱变 33 d 和 22 h 使当归 SP₁ 成药期植株性状发生明显变异,增大了返青期的变异幅度,创造出多样化的变异株后代群体,搭载 22 h 对生长指标的正向诱导效应更大。前期叶片数越多的群体后期叶片越少,这可能也与当归的早期抽薹有关,因为返青后植株生长越旺盛的植株早期抽薹率越高,营养优先供应抽薹、开花和结实等有性繁育,基叶数增长较少,而未抽薹成药株需要抽生基生叶为肉质根生长膨大及活性成分积累转化提供养分,也说明成药期当归基叶新生也是衡量当归成药特性的重要指标。

3.3 航天搭载种子对当归 SP₁ 成药根有效成分含量具有一定正向效应

药用植物内在品质和化学组分是基因型与环境共同作用的结果,也是维持个体生存并延续后代的物质基础。航天诱变对药用植物牛膝(*Achyranthes bidentata*)^[21]、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)^[22]的某些化学成分含量均产生影响。广东紫珠(*Callicarpa kwang-*

tungensis)经航天诱变后优选 F₃ 品系药物总含量和对照的差异不明显^[23],但高文远等^[24]将甘草种子搭载返回式卫星 18 d 种子发育成熟根的甘草酸和甘草苷含量分别比对照组高 2.19 倍和 1.18 倍。当归是我国的主要道地中药材品种,2020 版《中国药典》规定当归的浸出物含量不得少于 45%,阿魏酸含量不得低于 0.05%。本研究发现,在有机栽培条件下,岷县产当归主要成分远高于《中国药典》最低标准,平均浸出物含量为 54.1%,阿魏酸含量为 0.10%,航天诱变当归种子后,尽管 SP₁ 代药材成分差异性未达到显著水平,但也可揭示航天诱变的双向效应,搭载 33 d 和 22 h 处理的阿魏酸含量分别高于 CK,浸出物含量因搭载条件而不同,33 d 当归 SP₁ 药材浸出物含量比 CK 高出 3.8%,22 h 浸出物含量比 CK 降低 2.8%。说明不同物种对航天诱变的敏感性不同,航天诱变具有不确定性,药用植物经过航天诱变后有可能会提高某些成分含量,但也有可能降低某成分,航天诱变创造的优异变异群体为后世代内在品质目标性状的选择奠定了良好种质基础。本研究首次通过航天诱变创造当归变异群体并进行新品种选育探索,对获得的优异变异株后代群体还有待在有机栽培条件下进一步连续定向选择和鉴定,以期选育出抗逆性强,早期抽薹率低,丰产优质的当归新品种。

4 结论

当归地方农家品种种子成苗率仅 6.8%,种苗成药率仅 20.8%,种子经航天诱变后可增强抗逆性,育成种苗的返青率和成活率显著提高,对株高、株幅和茎粗等主要农艺性状具有正向诱变效应,并提高了药材根内在品质的丰富度,但同时也提高了 SP₁ 代早期抽薹率,各处理种苗成药率依次为 33 d(26.0%)>22 h(21.4%)>CK(20.8%),获得的抗逆成药株将是新品种选育的优异宝贵种质资源。由于诱导的变异随机发生,第 1 代诱变株基因分离的局限性大,性状稳定性差,需要在后时代大量定向选育,并结合分子鉴定技术,才能选育出符合性状整齐一致、遗传稳定和主要性状突出的当归优良新品种。

致谢:天士力控股集团董事局闫希军主席、周水平、朱永宏,天津天士力现代中药资源有限公司张兰兰、张学敏、徐波、韩亚朋,甘肃数字本草检验中心有限公司王浩亮等提供合作与帮助。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。甘肃农业大学博士生白刚、高雪、姜小凤、梁伟,硕士生王红燕、葛鑫、刘兰兰、焦旭升、袁洪超、金彦博参与当归育苗、移栽及指标测定。

参考文献:

- [1] 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,2020:139.
- [2] 张瑛,王亚丽,潘新波. 当归历史资源分布本草考证[J]. 中药材,2016,39(8):1908-1910.
- [3] 赵锐明,陈垣,郭凤霞,等. 甘肃岷县野生当归资源分布特点及其与栽培当归生长特性的比较研究[J]. 草业学报,2014,23(2):29-37.
- [4] 白刚,郭凤霞,陈垣,等. 岷县生荒地和熟地育成当归苗抗逆生理特性的差异[J]. 草业学报,2020,28(1):86-95.
- [5] 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.
- [6] 金彦博,郭凤霞,陈垣,等. 岷县不同茬口对当归苗栽生长及抗病性的影响[J]. 草业学报,2018,27(4):69-78.
- [7] 刘金印. 当归种子太空诱变效应研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2019.
- [8] 肖婉君,郭凤霞,陈垣,等. 施用有机肥对当归药材性状、产量及抗病性的影响[J]. 草业学报,2021,30(3):189-199.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Yang, C, Wu, X, Guo, X, 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.
- [12] Hongchun X, Huijun G, Yongdun X, 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):552-565.
- [13] 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,2008,22(2):188-191.
- [14] 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,2004,18(4):323-324.
- [15] 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.
- [16] 彭曦,叶庆生. 太空诱变对金钗石斛光合特性和生长的影响[J]. 热带亚热带植物学报,2017,25(5):480-488.
- [17] 丁兰,耿金鹏,秦垒,等. 质子和太空辐射对金鱼草的诱变效应[J]. 北方园艺,2019(15):82-90.
- [18] 徐世浩,孟凡旭,赵宏光,等. 决明农艺性状与其种子中蒽醌类物质含量之间的相关性分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2021,41(1):40-47.
- [19] 王志芬,单成钢,苏学合,等. 丹参种子航天搭载的诱变效应研究[J]. 现代中药研究与实践,2007,21(4):6-8.
- [20] 任卫波,韩建国,张蕴薇,等. 卫星搭载对二色胡枝子生物学特性的影响[J]. 草地学报,2006,14(2):112-115.
- [21] 李金贵,朱奎,谷文英,等. 航天搭载对牛膝SP₁化学成分的影响[J]. 中国中药杂志,2008,33(10):1161-1163.
- [22] Zhang J, Gao W, Yan S, et al. Effects of space flight on the chemical constituents and anti-inflammatory activity of Licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch)[J]. IJPR, 2012, 11(2):601-609.
- [23] 彭辉武,李萍,潜伟平,等. 广东紫珠太空诱变育种药物成分含量分析[J]. 现代农业科技,2018(23):76+79.
- [24] 高文远,李克峰,高秀梅,等. 太空环境对甘草DNA诱变作用和次生代谢产物的影响[J]. 中国科学(C辑:生命科学),2008,38(11):1090-1094.
- [25] Afaq Ahmad Malik, Javed Ahmad, Abdin M Z. Development of organic cultivation of medicinal plants in the north india[J]. Herba Polonica, 2014, 59(4):97-107.

Medicinal property of the first space mutation generation (SP_1) of *A. sinensis*

LIU Yu-xiao¹, GUO Feng-xia¹, CHEN Yuan^{1,3}, LIU Jin-yin¹, CHEN Yong-zhong¹,
JIN Jian-qin¹, XU Hong-liang²

(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, Gansu 730070; 2. Tianjin Key Lab of Modern Chinese Medicine Resource Research Enterprise, Tianjin tianshli Modern Chinese Medicine Resources Co., Ltd, Tianjin 300410, China; 3. 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 748100, China)

Abstract: Early bolting and root rot affect the cultivation effect of *Angelica sinensis*. In order to explore the induced effect of space flight on the plant medicinal formation characteristics, the *A. sinensis* seeds were carried on the "Changzhen No. 7" and "Shenzhou 11" spacecraft for 22 h and 33 d respectively in space. After return to the ground, the seeds were then sowed to produce seedlings which were further cultivated and identified for medicinal formation in the field. The results showed that compared with the control seeds, the greening rate of SP_1 transplanted from *A. sinensis* seeds loaded 33 d in Shenzhou and 22 h in Changzheng significantly increased by 24.0% and 14.9%, respectively. The early bolting rate and mortality of the control seeds were as high as 40.2% and 26.8% when returned to green after transplanted respectively. Compared with the CK, the early bolting rate of 33 d and 22 h population induced by spaceflight was significantly increased by 29.7% and 21.4%, respectively, and the mortality was significantly decreased by 26.8% and 16.0%, respectively. The medicinal plant rate of the seedlings was ranked as 33 d (26.0%) > 22 h (21.4%) > CK (20.8%). The plant height, plant width and stem diameter were significantly higher than those of CK, but there was no significant difference for leaf blades per plant. The rank of ferulic acid content was 22 h (0.12%) > 33 d (0.11%) > CK (0.10%), and the extract content was 33 d (57.90%) > CK (54.10%) > 22 h (51.30%), but the difference was not significant. In conclusion, the *A. sinensis* seeds carried by spaceflight could be induced to give both favorable and unfavorable variation, but the excellent population with strong stress resistance was created, by which the precious germplasm resources for new variety breeding were established. Thus, a technical way for breeding based on spaceflight is explored. Besides, root disease and early bolting were the main reasons for the low medicinal rate, and it was urgent to improve the *A. sinensis* variety by purification and rejuvenation.

Key words: *Angelica sinensis* seed; space mutation; medicinal formation period; re-greening; early bolting