

# 航天诱变对四种常绿树种种子特性 与幼苗生理的影响

安 菁 王祎飞 赵新元 吴记贵 张安琪 盖立新

北京松山国家级自然保护区管理处;北京市松山林场管理处 102115

**摘 要:**本研究以油松、白皮松、青海云杉、祁连圆柏为材料,比较并分析了各树种经历航天诱变与地面对照的生长性状、光合特性以及内源物质的差异。结果表明:航天诱变对四个常绿树种子的千粒重与成苗率影响不明显;航天诱变后四种植物幼苗株高、基径均高于地面对照组,除白皮松平均叶片数高于地面对照组,油松、青海云杉和祁连圆柏的平均叶片数均少于地面对照组,白皮松的平均比叶面积与地面对照组没有明显差异,油松、青海云杉和祁连圆柏的平均比叶面积均高于地面对照组,且祁连圆柏达到极显著水平;对光响应曲线进行对比发现,在油松中,除  $1000\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  光强外,航天诱变组的净光合速率均低于地面对照组;而白皮松中,航天诱变组的净光合速率均明显低于地面对照组,青海云杉和祁连圆柏的光合效率对光的响应变化不明显;对  $\text{CO}_2$  响应曲线进行测定,随着  $\text{CO}_2$  浓度的升高,四种植物航天诱变组的净光合速率大都低于地面对照组。对四个植物的内源物质进行测定发现,经航天诱变后只有白皮松叶片中的可溶性糖含量显著增加,其他三个树种并无显著差异,经过航天处理后相比于对照组,四个树种叶片内 ABA 含量均降低。

**关键词:**航天诱变;常绿树;种子发育;幼苗生长

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为经过太空诱变处理优质油松种子,优质白皮松种子,优质青海云杉,优质祁连圆柏种子四种常绿树种航天育种种子。

### 1.2 育苗管理

2021年3月24日-2021年3月25日,对油松、青海云杉种子进行浸种催芽,对白皮松、祁连圆柏种子进行层积催芽。根据

国标发芽处理要求,白皮松于  $1-5^\circ\text{C}$  层积 45 天,祁连圆柏于  $20^\circ\text{C}$  下层积 60 天后,转  $3-5^\circ\text{C}$  下层积 45 天。待种子露白后开始播种。

每种每个处理各培养 10 盆,每个处理破坏性取样与非破坏性取样各设定 5 个重复。在光照培养箱里进行催芽,待种子露白后,播种在容器中,容器选用直径 3.5 cm,高 21 cm 的规格大小,轻基质配比为进口品质泥炭:珍珠岩 =3:1。使用硫酸亚铁、多菌灵混拌进行杀菌消毒。采用自然光进行培养,温室内光衰减率约

表 1 光合速率对光强的响应参数

	Rd	AQY	Pmax	LCP	LSP
油松 A	-0.192	0.114	4.773	-1.684	40.184
油松 B	1.235	0.109	5.377	11.330	60.661
白皮松 A	0.189	0.125	49.919	1.512	401.104
白皮松 B	0.364	0.105	15.650	3.467	152.514
青海云杉 A	0.528	0.007	5.604	75.429	876.000
青海云杉 B	0.582	0.024	11.673	24.250	510.625
祁连圆柏 A	0.638	0.012	8.068	56.000	728.333
祁连圆柏 B	0.098	0.027	11.596	23.630	453.111

注: A 为地面对照, B 为航天诱变。

表 2 光合速率对 CO<sub>2</sub>浓度的响应参数

	R <sub>p</sub>	α	P <sub>max</sub>	CCP	CSP
油松 A	2.172	0.104	17.169	20.885	185.971
油松 B	1.254	0.047	16.768	26.681	383.447
白皮松 A	4.123	0.129	18.145	31.961	172.620
白皮松 B	-0.042	0.010	83.252	-4.200	8321.000
青海云 A	3.727	0.107	16.723	34.832	191.122
青海云 B	0.852	0.020	15.748	42.600	830.000
祁连圆柏 A	4.039	0.098	16.073	41.214	205.225
祁连圆柏 B	0.839	0.017	15.732	49.353	974.765

注: A 为地面对照, B 为航天诱变。

30%。在幼苗出土脱壳期进行补光管理,时间为每天 22:00 时至次日 2:00,补光强度为 3 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。实验期间用 JL-19 空气温湿度记录仪测定温室内的温湿度,温室内昼夜温度保持为 28/18℃,相对湿度为 40%~80%。各树种按照育苗技术规程进行日常培养管理,培养一段时间后,待幼苗长到一定高度后开展实验。

### 1.3 种子千粒重与成苗率测定

在播种前 2021 年 3 月 23 日,对青海云杉、油松、白皮松种子千粒重进行测定,并将相同数量的诱变种子和对照组种子分别放置于覆盖湿润滤纸的培养皿中,并将培养皿放置于光照培养箱内。培养箱内温度设置为 25℃,湿度维持在 60%~70%。每隔一段时间向培养皿中添加水分以保持湿润的萌发环境。待种子开始萌发后进行移栽。一个月后在间苗前统计航天诱变组和对照组每种树种的种子成苗总量并计算成苗率。成苗率 = 成活幼苗 / 播种幼苗 × 100%

### 1.4 生长指标测定

在幼苗盆栽中各随机挑取 10 盆,各盆栽中随机选取一株健康且长势一致幼苗进行生长指标的测定。用卷尺测量株高 H (cm),测量从幼苗基部到顶端的距离,用游标卡尺在土壤处测定幼苗基径 D (cm),并记录每株的叶片数量,重复五次。

于破坏性取样的幼苗盆栽中,各处理组合随机挑选 5 盆健康且长势一致的个体,对叶片进行随机采样,采样后立即用分析天平称其鲜重,用扫描仪扫描单叶面积。在烘箱内烘干,70℃下烘 72 h。烘干后立即称量各叶片干重。比叶面积 = 单叶面积 / 干重 × 100%

## 2 结果与分析

### 2.1 航天诱变对种子千粒重与成苗率的影响

航天诱变影响了白皮松、青海云杉、油松的种子千粒重。在浸种前进行种子千粒重测定,经过航天诱变,白皮松种子的千粒重显著性小于地面对照(分别为 155.95g 和 159.74g, p<0.001);青海云杉也如此(分别为 4.59g 和 5.19g, p=0.005);但油松经过航天诱变后种子千粒重大于地面对照(分别为 51.48 g 和 45.89 g, p<0.001);祁连圆柏航天种子千粒重为 190.01g,与地面对照 189.66g 相比差异不明显。

在间苗前统计油松、白皮松、青海云杉和祁连圆柏种子成苗率,航天诱变对四个常绿树种子的成苗率产生了一定影响。

白皮松和祁连圆柏经航天诱变后的种子成苗率(99.31%、69.80%)明显高于地面对照组(86.11%、64.45%);油松经航天诱变后种子成苗率为 79.75%,稍低于地面对照组 80.34%;而青海云杉经航天诱变后成苗率为 91.50%,稍高于地面对照组 90.96%。

### 2.2 航天诱变对幼苗生长指标的影响

航天诱变后植株的平均株高均高于地面对照组。并且航天诱变增加了测试样本株高分布范围,油松地面对照组株高分布范围为 5.5 cm~14.4 cm,油松航天诱变组株高分布范围为 4.5 cm~16.9 cm;白皮松地面对照组株高为 1.4 cm~3.7 cm,航天诱变组为 1.4 cm~4.5 cm;青海云杉地面对照组为 0.6 cm~2.0 cm,而航天诱变组为 0.6 cm~2.5 cm;祁连圆柏地面对照组为 0.6 cm~1.7 cm,而航天诱变组为 0.6 cm~2.0 cm。其变异系数分别为:油松地面对照 10.99%、油松航天诱变 15.96%,白皮松地面对照 8.20%、白皮松航天诱变 11.25%,青海云杉地面对照 8.52%、青海云杉航天诱变 18.24%,祁连圆柏地面对照 28.56%、祁连圆柏航天诱变 28.79%。

与平均株高类似,经航天诱变后植株的平均基径均高于地面对照组,且被测样本基径的分布范围增大,油松地面对照组基径分布范围为 1.60 cm~3.09 cm,油松航天诱变组基径分布范围为 1.40 cm~3.10 cm;白皮松地面对照组基径为 0.70 cm~1.31 cm,航天诱变组为 0.84 cm~1.74 cm;青海云杉地面对照组基径为 0.42 cm~0.94 cm,而航天诱变组为 0.42 cm~0.99 cm;祁连圆柏地面对照组为 0.32 cm~0.67 cm,航天诱变组为 0.23 cm~0.82 cm。其变异系数分别为:油松地面对照 6.59%、油松航天诱变 8.96%,白皮松地面对照 10.20%、白皮松航天诱变 14.10%,青海云杉地面对照 8.06%、青海云杉航天诱变 12.37%,祁连圆柏地面对照 18.94%、祁连圆柏航天诱变 23.23%。

### 2.3 航天诱变对光合效率的影响

#### 2.3.1 光响应曲线

随着光合有效辐射的增加,四个树种植株的净光合速率均呈上升的趋势。在油松中,除 1000 μmol/m<sup>2</sup>/s 光强外,航天诱变组的净光合速率均低于地面对照组;而白皮松中,航天诱变组的净光合速率均明显低于地面对照组;青海云杉和祁连圆柏的光合效率对光的响应变化不明显,但在光照强度较低时,航天诱变后的青海云杉和祁连圆柏的光合效率增加幅度大于地面



对照。

利用非直角双曲线模型拟合曲线并计算相应参数(表1), 决定系数  $R^2$  均大于 0.991。最大净光合速率  $P_{max}$  反映叶片在光饱和点时的最大光合能力, 不同植物物种间最大净光合速率存在一定差异。从结果看出, 四个树种地面对照的光合能力由强至弱分别为白皮松 > 祁连圆柏 > 青海云杉 > 油松。经过航天诱变后, 油松、青海云杉和祁连圆柏的最大光合能力变化显著升高, 只有白皮松的最大光合速率显著降低, 四个树种的光合能力排序变化为白皮松 > 青海云杉 > 祁连圆柏 > 油松。从结果看出, 四个树种地面对照的光能转化效率排序为白皮松 > 油松 > 祁连圆柏 > 青海云杉。经过航天诱变, 降低了油松和白皮松的表观量子效率, 使其对弱光的吸收、转换和利用能力下降, 却增加了青海云杉和祁连圆柏的表观量子效率, 相反, 使其对弱光的吸收、转换和利用能力上升, 此时的排序为祁连圆柏 > 青海云杉 > 油松 > 白皮松。

暗呼吸速率  $R_d$  反映了植物在黑暗条件下未进行光合作用的呼吸速率。从结果看出, 四个树种地面对照的暗呼吸速率排序为祁连圆柏 > 青海云杉 > 白皮松 > 油松。经过航天诱变后, 油松、白皮松和青海云杉的暗呼吸速率显著升高, 说明经过航天诱变后, 油松、白皮松和青海云杉的呼吸作用加强, 黑暗时的体内的代谢运转加强。只有祁连圆柏的暗呼吸速率显著降低, 说明祁连圆柏经过航天诱变后减弱了叶片的呼吸作用来减少能量消耗。此时四个树种的暗呼吸速率排序变化为油松 > 青海云杉 > 白皮松 > 祁连圆柏。

### 2.3.2 光合效率- $CO_2$ 浓度响应曲线

随着  $CO_2$  浓度的升高, 油松、白皮松、青海云杉和祁连圆柏的净光合速率逐渐升高趋势, 且航天诱变后, 四个树种的净光合速率大都低于地面对照组。利用直角双曲线模型拟合曲线并计算相应参数(表2), 决定系数  $R^2$  均大于 0.936。结果显示, 四个树种的初始羧化效率由高至低依次为白皮松 > 青海云杉 > 油松 > 祁连圆柏, 说明白皮松和青海云杉利用低浓度  $CO_2$  的能力强于油松和祁连圆柏。另外, 光呼吸速率由小至大的排序依次为油松 < 青海云杉 < 祁连圆柏 < 白皮松, 说明油松和青海云杉的  $CO_2$  同化能力强于祁连圆柏和白皮松。航天诱变降低了油松、白皮松、青海云杉和祁连圆柏的初始羧化效率  $\alpha$  和光呼吸速率  $R_p$ , 降低了对低浓度  $CO_2$  利用率, 同时减少了光呼吸消耗。航天诱变后四个树种的初始羧化效率由高至低依次为油松 > 青海云杉 > 祁连圆柏 > 白皮松; 而航天诱变后四个树种的光呼吸速率由小至大的排序依次为白皮松 < 祁连圆柏 < 青海云杉 < 油松。四个树种地面对照的最大净光合速率  $P_{max}$  排序依次为白皮松 > 油松 > 青海云杉 > 祁连圆柏, 说明白皮松的光合能力最大。

## 2.4 航天诱变对幼苗内源物质的影响

### 2.4.1 可溶性糖影响

四个树种的地面对照组叶片平均可溶性糖含量相差不大, 经航天诱变后, 油松叶片中的平均可溶性糖含量有所降低, 而青海云杉和祁连圆柏叶片中的可溶性糖含量有所增加, 值得一提的是, 白皮松叶片中的可溶性糖含量显著性增加。航天诱变后, 四个树种叶片的平均可溶性糖含量的分布范围均增大, 分别为油松地面对照组叶片可溶性糖含量分布范围为 2.36~6.08  $\mu g/g$ , 航天诱变组分布范围为 2.29~8.76  $\mu g/g$ ; 白皮松地面对照组分布范围为 2.08~5.50  $\mu g/g$ , 白皮松航天诱变组分布范围为 3.24~10.81  $\mu g/g$ ; 青海云杉地面对照组叶可溶性糖含量 1.24~7.39  $\mu g/g$ , 航天诱变组 1.19~8.35  $\mu g/g$ ; 祁连圆柏地面对照组 1.00~6.08  $\mu g/g$ , 航天诱变组 1.01~7.93  $\mu g/g$ 。其变异系数分别为油松地面对照组 22.75%、航天诱变组 37.35%, 白皮松地面对照组 27.10%、航天诱变组 31.73%, 青海云杉地面对照组 43.26%、航天诱变组 49.76%。祁连圆柏地面对照组 39.10%、航天

诱变组 47.54%。

### 2.4.2 脱落酸影响

脱落酸 ABA 不仅调节植物的成熟与衰老, 还可增加植物的抗逆性。通过对油松、白皮松、青海云杉和祁连圆柏叶片中的 ABA 含量进行测定, 结果表明, 四个树种叶片内平均 ABA 含量由高至低依次为祁连圆柏 > 青海云杉 > 白皮松 > 油松, 由此推断祁连圆柏和青海云杉对逆境的抵抗能力稍强于油松和白皮松。经航天诱变后, 四个树种叶片内 ABA 含量均减低, 但 ABA 含量的分布范围均增大, 分别为油松地面对照组叶片 ABA 含量分布范围为 53.66~188.40  $ng/g$ , 航天诱变组分布范围为 49.00~192.23  $ng/g$ ; 白皮松地面对照组分布范围为 54.04~189.71  $ng/g$ , 白皮松航天诱变组分布范围为 49.35~193.57  $ng/g$ ; 青海云杉地面对照组叶 ABA 含量 71.62~208.28  $ng/g$ , 航天诱变组 66.30~211.87  $ng/g$ ; 祁连圆柏地面对照组 98.56~231.53  $ng/g$ , 航天诱变组 92.66~234.72  $ng/g$ 。但它们的变异系数无明显差异, 分别为油松地面对照组 29.07%、航天诱变组 28.83%, 白皮松地面对照组 29.07%、航天诱变组 28.83%, 青海云杉地面对照组 24.84%、航天诱变组 24.61%。祁连圆柏地面对照组 20.01%、航天诱变组 19.79%。

## 3 讨论

### 3.1 航天诱变对于四种常绿树的诱变效应

本次航天诱变对油松、白皮松、青海云杉和祁连圆柏种子发育与幼苗的生长产生了较大影响, 且影响着各树种生长的不同方面。航天诱变四个常绿树种的发芽率与成苗率造成一定影响。对四种植物的千粒重影响不明显, 对白皮松种苗的成苗率有着一定的促进作用但是对其他三种不明显。油松经航天诱变后, 平均株高、平均基径、平均比叶面积增大, 叶片数减少; 白皮松经航天诱变后, 平均株高、基径增大, 叶片数极显著增多, 比叶面积无明显变化; 青海云杉经航天诱变后, 平均株高、基径、叶片数、比叶面积均不同程度增大; 祁连圆柏经航天诱变后, 平均株高、平均基径、平均叶片数变化不明显, 但比叶面积极显著增大。四个树种经航天诱变后, 生长指标均有所增加, 说明航天诱变对林木生长性状具有一定的正向作用。但是生长性状得到的正向变异不同, 对四个树种的光强和  $CO_2$  浓度的响应曲线进行测定发现, 四种植物在诱变后各个水平下的光合效率大多一定水平的下降, 并未得到显著的提升, 说明航天诱变影响了四种植物在光合作用之外的生理反应, 促进了种苗的生长发育, 对于促进机理仍需要进一步研究。

### 3.2 航天诱变对于四种常绿树选育的指导作用

我国自 2002 年木本植物航天诱变育种开始以来, 已经获得了一些通过航天诱变的林木品种。但是相比农作物、药用植物而言, 木本植物仍属于起步阶段。航天诱变育种周期相比于传统育种短, 并且能够创造特异性突变基因。但是由于诱变技术本身的不确定性, 产生的变异对性状的影响也不统一, 并且由于性状的遗传力不同, 在确定亲本后对于后代种子的选育仍需大量工作。本次研究对四种常绿树的种子、幼苗的生长生理特性进行研究, 对为下一步选育变异单株, 进而培育新的种质资源奠定了基础。通过继续对四种常绿树后续的生长性状、木材特性和生理特性等进行测定, 遴选出优质变异植株, 为各种育种目标提供更丰富的选择材料和杂交亲本, 目标培育出能够稳定遗传的优质、高产、抗逆性强的常绿树新品种。

### 参考文献:

- [1] 花欣, 尹淑霞. 空间诱变育种的研究现状与展望[J]. 山东农业科学, 2011(4):29-32.
- [2] 甘仪梅, 张树珍, 武媛丽, 杨本鹏. 作物航天诱变育种变异特征研究进展[J]. 广东农业科学, 2015, 42(1):119-123.
- [3] 傅旭军, 杨清华, 袁凤杰, 郁晓敏, 金抗霞, 朱申龙, 朱丹华. 浙鲜 9 号的航天选育与特征特性分析[J]. 核农学报, 2019, 33(5):841-847.
- [4] 杨红善. 航天诱变多叶紫花苜蓿新品种选育研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2018.