



· 研究报告 ·

## 航天搭载对武夷名丛相关生理及生长特性的影响

刘建福<sup>1\*</sup>, 陈育才<sup>2</sup>, 王文建<sup>3</sup>, 王河川<sup>4</sup>, 蔡金福<sup>4</sup>, 王明元<sup>1</sup>, 李丹丹<sup>1</sup>, 张斌<sup>5</sup>, 黄昆<sup>5</sup>

<sup>1</sup>华侨大学园艺系/园艺科学与工程研究所, 厦门 361021; <sup>2</sup>南安市丰州镇农业服务中心, 泉州 362330; <sup>3</sup>安溪县茶叶科学研究所, 泉州 362400; <sup>4</sup>泉州市农业农村局种植业管理站, 泉州 362000; <sup>5</sup>福建省武夷山市仙茗岩茶厂, 南平 353000

**摘要** 以神舟八号飞船搭载的6种武夷名丛种子SP<sub>1</sub>代株系为材料, 探讨航天搭载对武夷名丛SP<sub>1</sub>代株系叶片形态、光合色素含量、叶绿素荧光参数、可溶性糖和蛋白质含量以及茶叶品质成分含量的影响, 分析航天搭载后武夷名丛生长和生理特性的变化, 从中筛选优良突变株。结果表明, 航天搭载后6个武夷名丛SP<sub>1</sub>代植株的叶长、叶宽、节间长度和叶面积均发生变化, 其中, 雀舌、肉桂和奇丹的叶面积显著增加; 航天搭载显著提高雀舌、奇丹、肉桂和金毛猴的叶绿素及类胡萝卜素含量, 瞬时叶绿素荧光(*F*<sub>v</sub>)和光量子效率(*Q*<sub>y</sub>)也有所增加, 这有利于提高光合效率; 武夷名丛航天搭载后表现出可溶性糖含量增加而蛋白质含量减少, 氨基酸和茶多酚含量下降, 儿茶素和咖啡碱含量上升。综合各项指标, 航天搭载后6个武夷名丛中雀舌可以作为有益变异株系加以选育。

**关键词** 叶绿素荧光, 形态特征, 茶树, 生理特性, 品质成分, 航天搭载

刘建福, 陈育才, 王文建, 王河川, 蔡金福, 王明元, 李丹丹, 张斌, 黄昆 (2020). 航天搭载对武夷名丛相关生理及生长特性的影响. 植物学报 55, 564–572.

乌龙茶种质资源是茶树资源中的瑰宝, 主要分布在我国的福建、广东和台湾省。经过自然演化和人工选择, 育种工作者创制出丰富多彩的乌龙茶种质, 一些稀有和特异种质得到收集保存和鉴定评价。我国乌龙茶产区常见的优良种质有200多份, 其中国家审定品种25个, 省级审定品种18个, 安溪良种80多个, 武夷名丛70多个, 凤凰单丛十大香型, 以及台茶品种11个(刘建福等, 2018)。武夷名丛是从武夷菜茶有性群体中选育出的优良单株, 在生产中采用扦插繁殖, 由于多代次扦插繁育和引种范围扩大, 其后代的经济性状和生物学特性发生变异, 引起茶叶品质退化, 这不利于保持品种纯度和成品茶品质的稳定。为了武夷岩茶产业的可持续发展, 现阶段亟须保护武夷名丛的优异品质, 开展武夷名丛优良品种的选育和产业化研究。

目前, 武夷名丛主要通过实生选种和从自然杂交后代中筛选(王飞权等, 2019)。茶树是多年生植物, 生长速度慢, 常规育种周期长。利用细胞工程和分子生

物学技术辅助茶树品种选育, 可以缩短育种年限并提高育种效率(刘建福等, 2018)。航天育种具有诱导作用强、变异幅度广、频率高、有益变异多样、稳定快、育种周期短及可以获得传统育种手段中难以获得的优异种质等优点, 已应用于植物种质创新和新品种选育(Kostina et al., 1984; 李晓峰等, 2018; Gan et al., 2019)。自1987年首次利用返回式卫星搭载植物种子以来, 我国先后进行了10多次搭载, 有1 000多份植物种子和生物材料经历太空育种实验; 已在水稻(*Oryza sativa*) (Li et al., 2007; 陈志强等, 2019)、小麦(*Triticum aestivum*) (Zhao et al., 2011; 张福彦等, 2019)和大豆(*Glycine max*) (郑伟等, 2015)等多种农作物以及药用植物(严硕等, 2010; 彭曦和叶庆生, 2017)和林业树种(姜静等, 2006; 袁存权等, 2010)中获得大量有益突变体, 并进行大面积推广应用, 产生显著的社会经济效益。然而茶树的航天诱变育种报道较少(刘建福等, 2013)。本研究以神舟八号返回式卫

收稿日期: 2020-03-05; 接受日期: 2020-05-08

基金项目: 国家自然科学基金(No.31101512)、福建省产业技术联合创新项目(No.[2014]514)和中央高校基本科研业务费专项(No. JB-ZR1151)。

\* 通讯作者。E-mail: jianfu@hqu.edu.cn

星搭载武夷名丛种子进行航天诱变, 然后分析武夷名丛SP<sub>1</sub>代的形态学特征、生理生化特性和品质成分含量, 以期从中筛选出有益的武夷名丛突变株系, 为茶树育种提供理论依据和新途径。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验材料为铁罗汉(*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. cv. 'Tieluohan')、肉桂(*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. cv. 'Rougui')、奇丹(*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. cv. 'Qidan')、矮脚乌龙(*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. cv. 'Aijiaowulong')、金毛猴(*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. cv. 'Jinmaohou')和雀舌(*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. cv. 'Queshe') 6个武夷名丛。由福建省武夷山市仙茗岩茶厂提供成熟种子。将种子分为2份, 1份用于2011年11月1日搭载神舟八号进行航天诱变, 2011年11月17日飞船返回; 另1份留作对照。2012年4月进行种子播种育苗, 育苗盆规格为上口直径13 cm、下口直径9 cm、高11.5 cm, 每盆播1粒种子。2013年4月把幼苗移栽到品种资源圃进行露地自然生长; 处理植株每个品种2株, 共12株。2014年每个处理植株扦插繁殖30~50株; 进行常规田间管理。2018年5月开展航天搭载后武夷名丛SP<sub>1</sub>代的形态特征、生理特性及品质成分研究。

### 1.2 测定方法

#### 1.2.1 形态特征

选取5年生武夷名丛植株从枝条顶部向下第3~4片成熟叶(叶片完全展开), 用直尺分别测量6个武夷名丛品种的叶片长度和宽度, 用叶面积仪测定叶面积, 每个处理测量20个叶片。用直尺测量枝条倒数第2和3节的节间长度, 每个处理测量20个枝条。

#### 1.2.2 生理特性

选取茶树4个不同方位的枝条, 从枝条顶部向下第3~4片成熟叶(叶片完全展开), 每株采摘20个叶片。将鲜叶采摘后带回实验室用于生理指标测定, 每个处理5株。叶绿素含量采用乙醇比色法测定(陈刚和李胜, 2016)。可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定(陈刚和李胜, 2016)。可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝G-250法

测定(陈刚和李胜, 2016)。用Yaxin-1161叶绿素荧光仪(北京雅欣理仪科技有限公司)测定顶部第3叶的瞬时叶绿素a荧光参数( $F_t$ )和光量子效率(Qy) (胡能兵等, 2018), 每株测定3个叶片。

#### 1.2.3 品质成分

根据乌龙茶一芽三叶标准采摘茶样, 鲜叶原料用50 Hz微波杀青, 在103°C电烘箱烘至足干, 磨碎, 保存于冰箱中备用。茶叶品质成分检测主要包括氨基酸、茶多酚、咖啡碱和儿茶素类物质。氨基酸含量测定采用GB/T 8314-2002茚三酮比色法。茶多酚含量测定采用GB/T 8313-2008福林酚比色法。咖啡碱及儿茶素含量测定采用GB/T 8313-2008 HPLC (高效液相色谱)法。液相色谱主要检测仪器为苏州岛津LC-10AT型液相色谱系统(HPLC), C<sub>18</sub>色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm, 日本Tosoh公司)。

### 1.3 数据分析

使用SPSS 19.0单因素分析(Oneway-ANOVA)对实验数据进行差异显著性检验( $P=0.05$ )。数据取平均值±标准差, 设5次重复。使用Microsoft Excel软件绘制图表。

## 2 结果与讨论

### 2.1 航天搭载对武夷名丛叶片形态特征的影响

航天搭载对6个武夷名丛叶片形态特征有显著影响, 航天搭载后植株叶长、叶宽、节间长度和叶面积因基因型而变化(表1; 图1)。航天搭载后, 肉桂、雀舌和矮脚乌龙的叶长显著高于对照, 金毛猴和铁罗汉的叶长显著低于对照, 奇丹的叶长与对照差异不显著。航天搭载后, 肉桂、奇丹和雀舌的叶宽显著高于对照, 矮脚乌龙和铁罗汉的叶宽显著低于对照, 金毛猴的叶宽与对照差异不显著。航天搭载后, 雀舌、肉桂和奇丹的叶面积显著高于对照, 分别比对照增加59.90%、43.38%和21.90%; 铁罗汉的叶面积显著低于对照, 降低31.34%; 金毛猴和矮脚乌龙的叶面积与对照差异不显著。节间长度也是反映植株长势的特征性状之一, 航天搭载后6个武夷名丛的节间长度均有不同程度的增加; 其中, 矮脚乌龙、雀舌和肉桂的节间长度显著高于对照, 分别比对照高15.91%、13.20%和

表1 航天搭载后武夷名丛叶片形态的变化(平均值±标准差)

Table 1 Changes of leaf morphology of Wuyimingcong after space treatment (means±SD)

Wuyi mingcong	Leaf length (cm)		Leaf width (cm)		Internode length (cm)		Leaf area (cm <sup>2</sup> )	
	Control	Space treatment	Control	Space treatment	Control	Space treatment	Control	Space treatment
Rougui	9.84±0.39	10.65±0.38*	3.11±0.24	4.12±0.19*	2.93±0.35	3.26±0.06*	21.42±0.31	30.71±0.28*
Jinmaohou	10.91±0.17	8.83±0.13*	3.57±0.19	3.81±0.03	3.12±0.38	3.38±0.11	24.26±0.18	23.55±0.08
Tieluohan	10.20±0.49	9.12±1.72*	4.50±0.51	3.54±0.43*	2.99±0.40	3.13±0.12	32.13±0.50	22.60±0.57*
Qidan	8.50±0.45	8.63±0.40	3.29±0.25	3.95±0.13*	3.16±0.53	3.38±0.34	19.58±0.35	23.86±0.26*
Queshe	7.35±0.44	9.61±0.69*	3.05±0.20	3.73±0.45*	3.03±0.24	3.43±0.09*	15.69±0.23	25.09±0.57*
Aijiaowulong	7.01±0.79	8.73±1.80*	3.17±0.26	2.91±0.03*	3.08±0.23	3.57±0.25*	15.56±0.53	17.78±0.42

\* 表示差异显著 ( $P<0.05$ ). \* indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

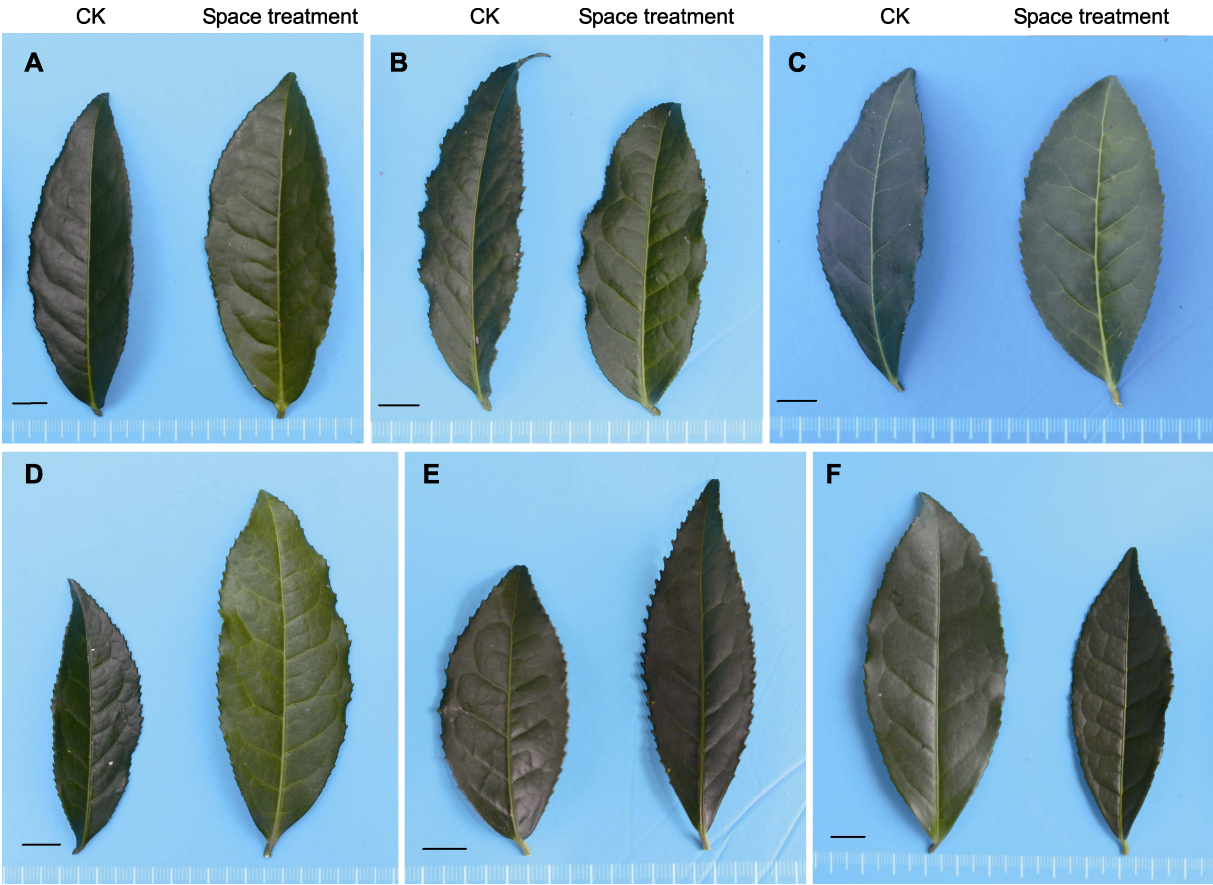


图1 航天搭载后武夷名丛叶片形态的变化

(A) 肉桂; (B) 金毛猴; (C) 奇丹; (D) 雀舌; (E) 矮脚乌龙; (F) 铁罗汉。Bars=1 cm

Figure 1 Changes of leaf morphology of Wuyimingcong after space treatment

(A) Rougui; (B) Jinmaohou; (C) Qidan; (D) Queshe; (E) Aijiaowulong; (F) Tieluohan. Bars=1 cm

11.26%; 金毛猴、铁罗汉和奇丹的节间长度与对照差异不显著。

航天搭载后武夷名丛植株叶片形态特征发生明显变化(图1), 植株叶片呈现出厚度增加、叶尖变为钝

尖的变化趋势。矮脚乌龙和铁罗汉的叶形由椭圆形变为长椭圆形, 叶尖变为急尖; 肉桂、金毛猴、雀舌和奇丹的叶形由长椭圆形变为椭圆形, 叶尖变为钝尖。矮脚乌龙的叶齿变为深锐状。

## 2.2 航天搭载对武夷名丛光合色素含量的影响

叶绿素含量与光合作用密切相关, 是光合作用的重要指标之一。航天搭载显著提高武夷名丛的叶绿素和类胡萝卜素含量(表2)。航天搭载后, 雀舌、奇丹和肉桂的叶绿素 $a$ 、叶绿素 $b$ 与总叶绿素含量均显著高于对照; 雀舌的叶绿素含量增幅最大, 其叶绿素 $a$ 、叶绿素 $b$ 和总叶绿素含量分别比对照增加101.90%、128.57%和108.57%; 其次是奇丹、肉桂和金毛猴; 铁罗汉和矮脚乌龙总叶绿素含量比对照略有增加, 但差异不显著。航天搭载后, 雀舌、奇丹、肉桂和金毛猴的类胡萝卜素含量均显著高于对照, 其含量分别比对照增加96.00%、57.14%、29.01%和35.29%; 铁罗汉和矮脚乌龙的类胡萝卜素含量比对照略有增加, 但差异不显著。因此, 航天搭载显著提高雀舌、奇丹、肉桂和金毛猴的叶绿素与类胡萝卜素含量, 但对铁罗汉和

矮脚乌龙的光合色素含量影响不显著。

## 2.3 航天搭载对武夷名丛可溶性糖和蛋白质含量的影响

航天搭载显著提高武夷名丛的可溶性糖含量(图2A), 金毛猴、肉桂、奇丹和铁罗汉的可溶性糖含量分别比对照增加563.64%、265.00%、313.79%和291.51%, 差异均极显著; 雀舌的可溶性糖含量显著高于对照, 比对照高73.20%; 矮脚乌龙的可溶性糖含量低于对照20.19%。航天搭载后武夷名丛的蛋白质含量也发生明显变化(图2B), 矮脚乌龙的蛋白质含量比对照增加24.62%, 且差异显著; 奇丹和雀舌的蛋白质含量分别比对照降低29.92%和29.89%, 与对照相比差异显著; 金毛猴、铁罗汉与肉桂的蛋白质含量与对照相比差异不显著。

表2 航天搭载后武夷名丛植株光合色素含量的变化(平均值 $\pm$ 标准差)

Table 2 Changes of photosynthetic pigment contents in Wuyimingcong after space treatment (means $\pm$ SD)

Wuyimingcong	Chlorophyll $a$ (mg·g <sup>-1</sup> )		Chlorophyll $b$ (mg·g <sup>-1</sup> )		Total chlorophyll (mg·g <sup>-1</sup> )		Carotenoid (mg·g <sup>-1</sup> )	
	Control	Space treatment	Control	Space treatment	Control	Space treatment	Control	Space treatment
Rougui	1.98 $\pm$ 0.26	2.65 $\pm$ 0.43*	0.66 $\pm$ 0.12	0.98 $\pm$ 0.15*	2.64 $\pm$ 0.90	3.63 $\pm$ 0.67*	0.55 $\pm$ 0.02	0.71 $\pm$ 0.05*
Jinmaohou	1.92 $\pm$ 0.29	2.28 $\pm$ 0.24*	0.78 $\pm$ 0.26	0.88 $\pm$ 0.17	2.70 $\pm$ 0.09	3.16 $\pm$ 0.30*	0.51 $\pm$ 0.03	0.69 $\pm$ 0.04*
Tieluohan	2.06 $\pm$ 0.13	2.16 $\pm$ 0.31	0.82 $\pm$ 0.15	0.83 $\pm$ 0.16	2.86 $\pm$ 0.34	2.99 $\pm$ 0.51	0.49 $\pm$ 0.02	0.53 $\pm$ 0.02
Qidan	1.04 $\pm$ 0.21	2.04 $\pm$ 0.12*	0.36 $\pm$ 0.16	0.78 $\pm$ 0.17*	1.40 $\pm$ 0.12	2.82 $\pm$ 0.58*	0.28 $\pm$ 0.05	0.44 $\pm$ 0.03*
Queshe	2.10 $\pm$ 0.14	4.24 $\pm$ 0.27*	0.70 $\pm$ 0.27	1.60 $\pm$ 0.47*	2.80 $\pm$ 0.78	5.84 $\pm$ 0.74*	0.50 $\pm$ 0.04	0.98 $\pm$ 0.03*
Aijiaowulong	2.38 $\pm$ 0.21	2.56 $\pm$ 0.14	0.76 $\pm$ 0.28	0.94 $\pm$ 0.11	3.14 $\pm$ 0.24	3.50 $\pm$ 0.91	0.47 $\pm$ 0.03	0.50 $\pm$ 0.02

\* 表示差异显著( $P<0.05$ )。\* indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

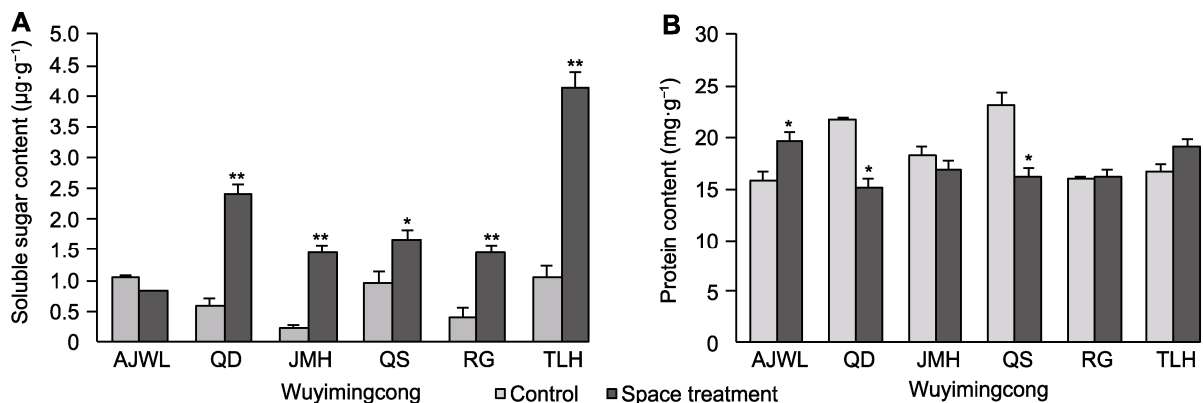


图2 航天搭载后武夷名丛可溶性糖(A)和蛋白质(B)含量的变化

\* 表示差异显著( $P<0.05$ ); \*\* 表示差异极显著( $P<0.01$ ). AJWL: 矮脚乌龙; QD: 奇丹; JMH: 金毛猴; QS: 雀舌; RG: 肉桂; TLH: 铁罗汉

Figure 2 Changes of soluble sugar (A) and protein (B) contents in Wuyimingcong after space treatment

\* indicate significant differences ( $P<0.05$ ); \*\* indicate extremely significant differences ( $P<0.01$ ). AJWL: Aijiaowulong; QD: Qidan; JMH: Jinmaohou; QS: Queshe; RG: Rougui; TLH: Tieluohan

## 2.4 航天搭载对武夷名丛叶绿素a荧光参数的影响

瞬时叶绿素荧光( $F_i$ )是叶绿素稳态荧光产量指标,反映植株光合产物的多少(徐晨等, 2018)。航天搭载明显提高武夷名丛株系的 $F_i$ 值,不同株系间存在差异(图3A);矮脚乌龙和肉桂的 $F_i$ 值分别比对照增加21.04%和17.65%,达显著水平;奇丹、金毛猴、雀舌和铁罗汉与对照差异不显著。以上结果表明航天搭载后武夷名丛光合效率提高,光合产物增加。

光量子效率(Qy)是光合作用中PSII最大光化学效率,反映反应中心捕获的光能(罗蛟等, 2020)。航天搭载后6个武夷名丛的Qy值发生变化(图3B);矮脚乌龙、奇丹、雀舌和肉桂的Qy值均高于对照,但与对照差异不显著;而铁罗汉和金毛猴的Qy值低于对照,与对照差异不显著。

## 2.5 航天搭载对武夷名丛品质成分含量的影响

茶多酚、咖啡碱和氨基酸是构成茶叶品质的主要成分,航天搭载后武夷名丛的主要品质成分含量发生明显变化(图4)。航天搭载后,奇丹、金毛猴、雀舌和肉桂4个武夷名丛的氨基酸含量均明显降低,其中金毛猴和奇丹分别比对照降低25.13%和22.28%,差异显著;而矮脚乌龙和铁罗汉与对照差异不显著(图4A)。航天搭载后6个武夷名丛的茶多酚含量与对照相比差异不显著(图4B),有5个株系比航天搭载前表现出降低的变化,其中,矮脚乌龙的茶多酚含量降低幅度最

大(8.21%);而雀舌的茶多酚含量明显增加。酚氨比在一定程度上反映出茶叶品质特性,航天搭载降低氨基酸含量,从而导致酚氨比增加。本研究中5个武夷名丛的酚氨比增加,最大增幅为26.88%;只有矮脚乌龙的酚氨比下降,降幅为10.56% (数据未显示)。

儿茶素是茶叶中主要酚类物质,具有抗氧化和促进脂肪代谢的功能。武夷名丛经航天搭载后儿茶素含量发生显著变化(图4C)。航天搭载后,雀舌、肉桂和金毛猴的儿茶素含量分别比对照增加356.40%、625.73%和134.23%,与对照差异极显著;铁罗汉的儿茶素含量变化不明显;而矮脚乌龙和奇丹的儿茶素含量分别比对照降低44.46%和23.10%,且与对照差异显著。

咖啡碱是茶叶中最主要的生物碱,是茶叶品质特征成分之一,具有多种保健功能。航天搭载后,矮脚乌龙、雀舌、肉桂和铁罗汉的咖啡碱含量均比对照有所增加,其中肉桂比对照增加26.89%,差异显著;而奇丹和金毛猴的咖啡碱含量分别比对照降低10.49%和7.72%,但差异不显著(图4D)。

## 2.6 讨论

航天诱变是利用宇宙射线、近地强磁场、超真空及微重力等特殊环境,打破植物基因连锁,促进基因重组,获得有益突变体,进而创制新种质和基因资源(张达等, 2006)。航天诱变育种具有突变广、诱变频

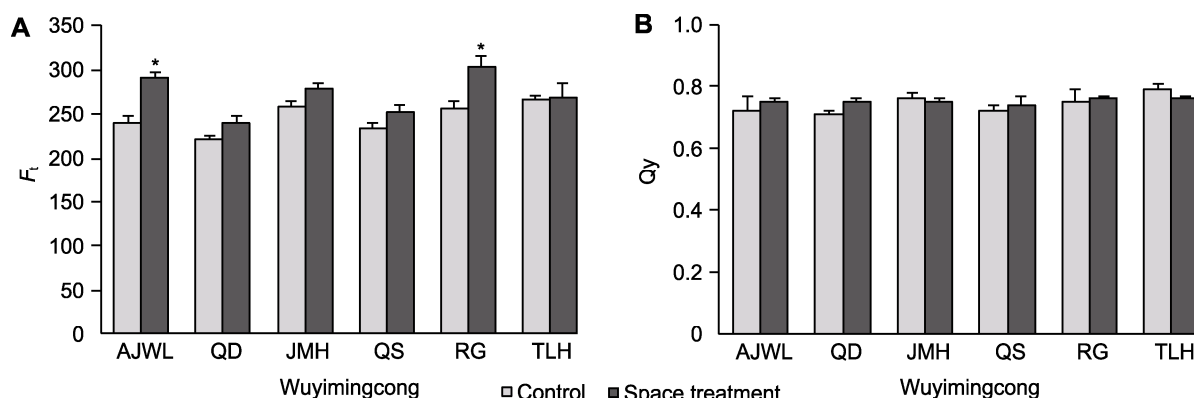


图3 航天搭载后武夷名丛瞬时叶绿素荧光( $F_i$ ) (A)和光量子效率(Qy) (B)的变化

\* 表示差异显著( $P < 0.05$ )。AJWL、QD、JMH、QS、RG和TLH同图2。

Figure 3 Changes of instantaneous chlorophyll fluorescence ( $F_i$ ) (A) and quantum efficiency (Qy) (B) of Wuyimingcong after space treatment

\* indicate significant differences ( $P < 0.05$ ). AJWL, QD, JMH, QS, RG and TLH see Figure 2.



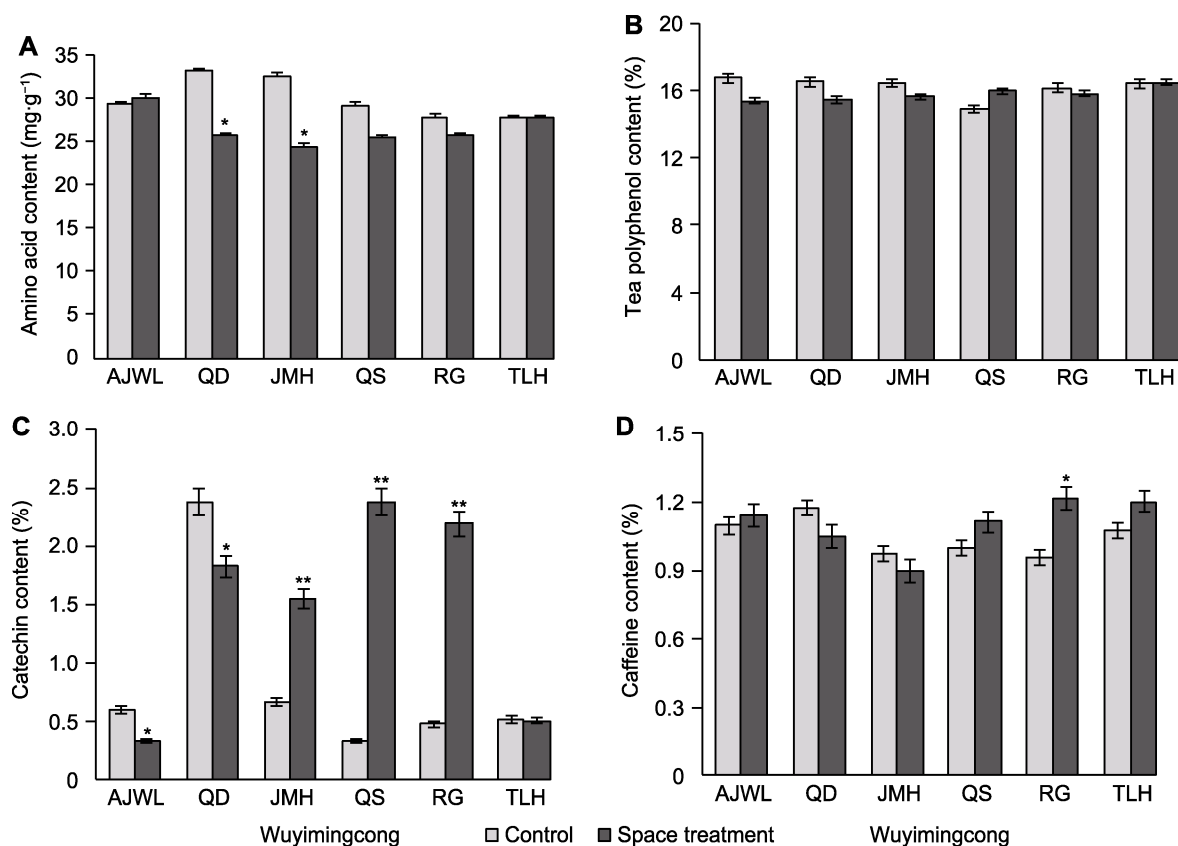


图4 航天搭载后武夷名丛品质成分含量的变化

(A) 氨基酸; (B) 茶多酚; (C) 儿茶素; (D) 咖啡碱。\* 表示差异显著( $P<0.05$ ); \*\* 表示差异极显著( $P<0.01$ )。AJWL、QD、JMH、QS、RG和TLH同图2。

Figure 4 Changes of quality components contents in Wuyimingcong after space treatment

(A) Amino acid; (B) Tea polyphenol; (C) Catechin; (D) Caffeine. \* indicate significant differences ( $P<0.05$ ); \*\* indicate extremely significant differences ( $P<0.01$ ). AJWL, QD, JMH, QS, RG and TLH see Figure 2.

率高和植株损伤小等特点, 其原因在于太空的近地空间条件与地球地面环境完全不同。飞船进入太空会对搭载植物(种子或组织)的细胞结构、生理代谢途径及遗传物质产生影响, 导致植物性状变异(郭长虹等, 2010)。我国通过航天搭载已获得500多个有益变异, 创制出一大批新种质, 并培育出大量的优质作物(沈进娟等, 2012)。自2011年神舟八号搭载武夷名丛种子进行航天诱变(刘建福等, 2013)之后, 铁观音、大红袍、正山小种、紫鹃和英红九号茶树种子先后搭载神舟十号和神舟十一号飞船进入太空进行航天诱变, 从而开启了我国茶树育种的新途径。

叶绿体是光合作用的主要部位, 分布着大量的叶绿素, 叶绿素含量直接影响光合强度, 而叶绿素的合成受到环境影响(Liu et al., 2012; 马宏秀等, 2019)。

研究表明, 空间诱变环境对叶绿素的合成有直接作用, 航天诱变降低文冠果(*Xanthoceras sorbifolium*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)和五角枫(*Acer pictum* subsp. *mono*)的叶绿素与类胡萝卜素含量(路超等, 2010), 降低玉米(*Zea mays*)、蜀葵(*Alcea rosea*)和白桦(*Betula platyphylla*)的叶绿素含量(李社荣等, 2001; 薛淮等, 2003; 姜静等, 2006), 降低刺槐总叶绿素和叶绿素 $b$ 的含量(袁存权等, 2010), 降低须苞石竹(*Dianthus barbatus* var. *asiaticus*)叶绿素 $a$ 含量和叶绿素 $a/b$ 比值(张建芳, 2011), 降低抱子芥(*Brassica juncea* var. *gemminfera*)叶绿素 $b$ 含量(杨军等, 2005)。其原因可能是空间环境对植物叶片细胞叶绿体结构产生一定影响, 使得光合器官受到损伤, 改变叶绿体超微结构, 从而影响叶绿素的生成。同时, 参

与叶绿素合成的酶对航天搭载的敏感程度因物种不同而异, 由于代谢途径的不同, 叶绿素a和b含量也有差异。本研究中, 航天搭载提高了武夷名丛叶绿素光合色素含量, 不同变异株系的叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量变化基本一致; 这与航天诱变提高芥菜(*B. juncea*) (沈进娟等, 2012)、丹参(*Salvia miltiorrhiza*) (周国莉等, 2015)、凤仙花(*Impatiens balsamina*) (田锐等, 2011)、决明(*Cassia tora*) (毛仁俊等, 2014)和辣椒(*Capsicum annuum*) (郭亚华等, 2011)的光合色素含量的结果基本一致。叶绿素含量升高有利于光合作用, 使植株长势强壮, 从而为高产奠定基础。叶绿素荧光参数反映光合作用效率(李辉等, 2016; Ramezani et al., 2017), 航天诱变后武夷名丛的 $F_v$ 和 $Q_y$ 值均发生不同程度的上调, 从而提高光合效率, 促进光合产物的积累。

蛋白质是细胞结构中最重要组成成分, 植物体内可溶性蛋白含量与抗病性有关; 且可溶性糖含量升高有利于植物生长和提高抗逆性(杨小青等, 2020)。航天搭载对植物造成一定程度的胁迫, 植物体内可溶性蛋白和可溶性糖等渗透调节物质的积累有助于提高细胞液浓度, 维持细胞膨压, 从而提高植株抗逆性(吴敏等, 2014)。宋兴舜等(2009)研究表明, 航天诱变后大青杨(*Populus ussuriensis*)体内可溶性蛋白含量增加, 细胞渗透调节能力增强, 表现出较强的抗逆性。本实验中航天搭载降低武夷名丛蛋白质含量, 这与甘蓝型油菜(*B. napus*) (蒲晓斌等, 2006)和循环线辣椒(*C. annuum* var. *dactylus*) (李屹等, 2009)在航天诱变后蛋白质含量下降的表现相同。航天搭载增加武夷名丛可溶性糖含量, 与航天搭载提高丹参可溶性糖含量的结果一致(周国莉等, 2015)。由于太空环境条件极为复杂, 诱变因素多, 起主导作用的因素难以确定, 常导致航天诱变结果具有不确定性。航天搭载提高武夷名丛可溶性糖含量, 可在一定程度上提高植株的抗逆性。

茶叶中多酚类物质是构成茶汤的物质基础, 是决定茶汤滋味和颜色的主要成分; 氨基酸对茶汤鲜味起主导作用。茶树辐射生物学效应结果表明, 低剂量辐射对茶多酚和氨基酸的代谢过程有促进作用,  $Co^{60}$ - $\gamma$ 射线低剂量辐射对茶树的氮、碳代谢过程有促进作用, 能提高茶多酚、氨基酸及水浸出物的含量(林树祺和

杨跃华, 1989)。低剂量辐射对茶树主要品质成分具有刺激效应, 其原因可能是辐射后茶树体内细胞生物膜的脂相产生过氧化物和过氧化氢等生物活性物质, 影响生物膜构象和多酚化合物, 控制细胞核内DNA的合成与分解, 促进细胞核内的重要代谢过程, 有利于次生代谢产物的积累(Takahashi et al., 1999)。本研究中武夷名丛表现出氨基酸和茶多酚含量下降而儿茶素和咖啡碱含量上升的变化趋势; 这是由于航天搭载有利于茶树多酚类物质和生物碱的合成代谢, 是茶树的碳氮代谢对航天搭载响应程度不同而产生的差异。本实验中雀舌的茶多酚、儿茶素和咖啡碱含量均显著增加, 酚氨比增高, 进而使茶叶品质有所提高, 可以作为有益变异株系加以选育。

目前, 我国航天诱变育种的应用研究已处于国际领先水平, 但航天诱变育种机理和提高诱变效率等基础理论研究相对薄弱(王俊敏, 2012)。今后需要从细胞学、生理生化和分子水平等方面加强对空间诱变生物学机理的研究。因此, 解析空间诱变的遗传规律和空间环境的地面模拟研究是我国航天诱变育种的重要课题。

## 参考文献

- 陈刚, 李胜 (2016). 植物生理学实验. 北京: 高等教育出版社. pp. 96–129.
- 陈志强, 周丹华, 郭涛, 王慧 (2019). 水稻航天生物育种研究进展. 华南农业大学学报 40(5), 195–202.
- 郭长虹, 于瑛, 王德慧, 马军, 郭亚华, 耿月伟 (2010). 航天搭载对辣椒SP<sub>1</sub>代的诱变效应. 哈尔滨工业大学学报 42, 1842–1844.
- 郭亚华, 谢立波, 孟凡娟, 刘录祥, 王雪, 高永利, 周宇, 庞洪影 (2011). 空间诱变后甜椒叶片光合、色素和超微结构的变化. 核农学报 25, 237–241.
- 胡能兵, 隋益虎, 舒英杰, 何克勤, 储娜 (2018). 高温干旱胁迫对辣椒热害指标及叶绿素荧光参数 $F_v/F_m$ 的影响. 基因组学与应用生物学报 37, 5421–5428.
- 姜静, 姜莹, 杨传平, 郭敏, 李开隆, 刘桂丰, 李慧玉 (2006). 白桦航天诱变育种研究初报. 核农学报 20, 27–31.
- 李辉, 张光灿, 谢会成, 许景伟, 李传荣, 孙居文 (2016). 苯酚废水对垂柳叶片光合生理参数的影响. 植物学报 51, 31–39.
- 李杜荣, 马惠平, 谷宏志, 朱保葛, 刘根齐 (2001). 返回式卫

- 星搭载后玉米叶绿体色素变化的研究. 核农学报 15, 75–80.
- 李晓锋, 朱红芳, 朱玉英, 侯瑞贤 (2018). 空间诱变创制不结球白菜晚抽薹新种质及新品种艳春的选育. 核农学报 32, 1249–1255.
- 李屹, 曲晓斌, 李莉 (2009). 太空诱变后循环线辣椒M<sub>1</sub>代生理指标的变化. 长江蔬菜 (24), 11–12.
- 林树祺, 杨跃华 (1989).  $\gamma$ 辐射对茶树主要品质成分的影响. 中国茶叶 (6), 20–21.
- 刘建福, 黄安民, 钟书淳, 黄寿生, 张斌, 吴燕红 (2013). “神舟八号”航天搭载武夷岩茶品种形态变异研究. 福建茶叶 35(5), 8–10.
- 刘建福, 王文建, 黄昆 (2018). 中国乌龙茶种质资源图鉴. 厦门: 厦门大学出版社. pp. 13–18.
- 路超, 袁存权, 李云, 习洋 (2010). 3种木本植物种子航天诱变研究初报. 核农学报 24, 1152–1157.
- 罗蛟, 李玉婷, 张子山, 车兴凯, 梁英, 李月楠, 李滢, 赵世杰, 高辉远 (2020). 烟草叶片中呼吸电子传递途径在缓解叶绿体PSII光抑制中的作用. 植物学报 55, 31–37.
- 马宏秀, 王开勇, 张开祥, 孟春梅, 安梦洁 (2019). 棉粕对盐碱胁迫下棉花生理及生长补偿效应. 植物学报 54, 208–216.
- 毛仁俊, 齐志鸿, 马楠, 刘岩, 韩蕊莲 (2014). 航天搭载对决明SP<sub>1</sub>代相关生理及生长特性的影响. 西北农林科技大学学报(自然科学版) 42(12), 166–172.
- 彭曦, 叶庆生 (2017). 太空诱变对金钗石斛光合特性和生长的影响. 热带亚热带植物学报 25, 480–488.
- 蒲晓斌, 张锦芳, 李浩杰, 黄驰, 李治华, 张启行, 蒋梁材 (2006). 甘蓝型油菜太空诱变后代农艺性状调查及品质分析. 西南农业学报 19, 373–377.
- 沈进娟, 冉广葵, 张召荣, 刘义华, 赵守忠, 肖丽, 张勇 (2012). 航天诱变对芥菜生理生化特性的影响. 西南农业学报 25, 1242–1247.
- 宋兴舜, 吴迪, 刘雪梅, 李开隆, 宋福南, 杨传平 (2009). 大青杨航天诱变植株早期抗氧化酶生化指标测定. 林业科学 45, 145–149.
- 田锟, 冯长焕, 汤泽生, 杨军, 彭正松 (2011). 航天诱变对凤仙花SP<sub>3</sub>代叶绿素及可溶性糖含量的影响. 内江师范学院学报 26(10), 35–38.
- 王飞权, 李纪艳, 冯花, 罗盛财, 林美菁, 李少华, 张见明, 张渤, 陈荣冰 (2019). 武夷名丛茶树种质资源叶片解剖结构分析. 热带作物学报 40, 2375–2389.
- 王俊敏 (2012). 水稻空间诱变机理及其在新品种选育中的应用. 硕士论文. 杭州: 浙江大学. pp. 23–27.
- 吴敏, 张文辉, 周建云, 马闯, 韩文娟 (2014). 干旱胁迫对栓皮栎幼苗细根的生长与生理生化指标的影响. 生态学报 34, 4223–4233.
- 徐晨, 刘晓龙, 李前, 凌凤楼, 武志海, 张治安 (2018). 供氮水平对盐胁迫下水稻叶片光合及叶绿素荧光特性的影响. 植物学报 53, 185–195.
- 薛淮, 刘敏, 张纯花, 潘毅 (2003). 空间搭载后的蜀葵幼苗叶中光合色素含量及抗氧化酶活性变化. 植物生理学通讯 39, 592–594.
- 严硕, 高文远, 路福平, 赵润怀 (2010). 药用植物空间育种研究进展. 中国中药杂志 35, 385–388.
- 杨军, 彭正松, 汤泽生, 谢晋鹤, 周红 (2005). 卫星搭载对抱子芥叶片叶绿素、可溶性糖含量的影响. 西华师范大学学报(自然科学版) 26, 354–357.
- 杨小青, 黄晓琴, 韩晓阳, 刘腾飞, 岳晓伟, 伊冉 (2020). 外源物质对茶树耐寒及蔗糖代谢关键基因表达的影响. 植物学报 55, 21–30.
- 袁存权, 李云, 路超, 杨敏生, 张玉瑶 (2010). 刺槐种子航天诱变生物学效应研究. 核农学报 24, 1141–1147.
- 张达, 王云秋, 郝再彬, 王豫颖 (2006). 浅谈我国航天育种研究. 东北农业大学学报 37, 416–422.
- 张福彦, 张建伟, 程仲杰, 陈晓杰, 齐红志, 杨保安, 范家霖, 崔龙 (2019). 航天诱变技术在小麦育种上的应用. 核农学报 33, 262–269.
- 张建芳 (2011). 空间环境对须苞石竹SP<sub>1</sub>诱变效应及突变体的生物学研究. 硕士论文. 雅安: 四川农业大学. pp. 33–37.
- 郑伟, 郭泰, 王志新, 李灿东, 张振宇, 郭美玲, 王庆胜, 张茂明, 刘忠堂 (2015). 大豆航天育种研究进展. 辐射研究与辐射工艺学报 33(5), 3–11.
- 周国莉, 徐贝, 刘应蛟, 喻亚飞, 刘塔斯, 舒柯 (2015). 航天搭载丹参SP<sub>1</sub>的叶绿素及可溶性糖的含量测定分析. 中南药学 13, 192–194.
- Gan YM, Wu YL, Zeng J, Cai WW, Cao ZY, Peng LS, Yang BP (2019). Effects of space radiation mutation on germination and growth of sugarcane hybrid seeds. Agric Biotechnol 8, 15–18.
- Kostina L, Anikeeva I, Vaulina E (1984). The influence of space flight factors on viability and mutability of plants. Adv Space Res 4, 65–70.
- Li Y, Liu M, Cheng Z, Sun Y (2007). Space environment induced mutations prefer to occur at polymorphic sites of rice genomes. Adv Space Res 40, 523–527.
- Liu SJ, Zhao ZT, Yu XD, Li HC, Zhang YW (2012). Analysis



on photosynthetic characteristics and carbon sequestration potential of *Lespedeza bicolor* of SP1 generation. *Adv Mater Res* **518–523**, 4985–4993.

**Ramezani M, Abdolmaleki MK, Shabani S, Dehestani A** (2017). The role of potassium phosphite in chlorophyll fluorescence and photosynthetic parameters of downy mildew-challenged cucumber *Cucumis sativus* plants. *Arch Phytopathol Plant Prot* **50**, 927–940.

**Takahashi A, Ohnishi K, Fukui M, Nakano T, Nagaoka S, Ohnishi T** (1999). The effect of microgravity on induced mutation through DNA synthesis during space flight. *Biol Sci Space* **13**, 234–235.

**Zhao HB, Guo HJ, Zhao LS, Gu JY, Zhao SR, Li JH, Liu LX** (2011). Agronomic traits and photosynthetic characteristics of chlorophyll-deficient wheat mutant induced by spaceflight environment. *Acta Agron Sin* **37**, 119–126.

## Effects of Space Treatment on Biological and Growth Characteristics of *Camellia sinensis*

Jianfu Liu<sup>1\*</sup>, Yucai Chen<sup>2</sup>, Wenjian Wang<sup>3</sup>, Hechuan Wang<sup>4</sup>, Jinfu Cai<sup>4</sup>, Mingyuan Wang<sup>1</sup>  
Dandan Li<sup>1</sup>, Bin Zhang<sup>5</sup>, Kun Huang<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Department of Horticulture/Institute of Horticulture Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China; <sup>2</sup>Agricultural Service Center of Fengzhou Town, Nan'an City, Quanzhou 362330, China; <sup>3</sup>Anxi Tea Research Institute, Quanzhou 362400, China; <sup>4</sup>Agriculture Planting Station of Quanzhou Municipal Bureau, Quanzhou 362000, China  
<sup>5</sup>Tea Factory of Wuyishan XianMingYan, Nanping 353000, China

**Abstract** Six SP<sub>1</sub> lines of *Camellia sinensis* carried by Shenzhou No.8 spacecraft were used as materials to study the effects of space flight on leaf morphology, chlorophyll fluorescence parameters, content of photosynthetic pigment and soluble sugar and protein, and quality components of Wuyimingcong. The growth and physiological characteristics of Wuyimingcong after space treatment were analyzed for subsequent variety selection. The results showed that leaf length, leaf width, internode length, and leaf area of the six SP<sub>1</sub> lines of Wuyimingcong were affected by space flight. Space treatment significantly increased the leaf areas of varieties of Queshe, Rougui, and Qidan, the chlorophyll contents and carotenoid contents of Queshe, Qidan, Rougui, and Jinmaohou varieties, as well as their instantaneous chlorophyll fluorescence ( $F_i$ ) and quantum efficiency ( $Q_y$ ). After space flight, the contents of soluble sugar increased and the contents of protein decreased. The contents of amino acids and tea polyphenols decreased while the contents of total catechins and caffeine increased. Based on the above indexes, Queshe can be selected as a useful mutant line among the six SP<sub>1</sub> lines of Wuyimingcong.

**Key words** chlorophyll fluorescence, morphological characteristics, Oolong tea, physiological characteristics, quality components, space treatment

**Liu JF, Chen YC, Wang WJ, Wang HC, Cai JF, Wang MY, Li DD, Zhang B, Huang K** (2020). Effects of space treatment on biological and growth characteristics of *Camellia sinensis*. *Chin Bull Bot* **55**, 564–572.

\* Author for correspondence. E-mail: jianfu@hqu.edu.cn

(责任编辑: 白羽红)