

# 航天搭载对小桐子生长、光合特性和产量的影响

何明霞<sup>1</sup>, 胡庭兴<sup>2</sup>, 费世民<sup>3</sup>, 杨清<sup>4\*</sup> (1 思茅师范高等专科学校, 云南普洱 665000; 2 四川农业大学, 四川雅安 625014; 3 四川省林业科学研究院, 四川成都 610812; 4 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南勐腊 666303)

**摘要** [目的] 利用航天诱变技术开展小桐子的育种工作, 以期选育出产量高、种子出油率高、适应性强的新品种提供丰富的育种材料。[方法] 以云南西双版纳和元阳 2 个种源地的小桐子种子为试材, 利用航天搭载手段进行诱变处理, 研究了航天搭载对当代植株的生长、光合特性、种子产量及含油率的影响, 并对小桐子产量与生长和光合因子之间的相关性进行分析。[结果] 航天搭载诱变明显促进了植株的生长, 提高了植株的光合能力、种子产量。小桐子产量与株高、地径等因子有 0.05 水平显著的相关性。[结论] 利用航天搭载进行小桐子种质创新是可行的。  
**关键词** 小桐子; 航天搭载; 生长; 光合特性; 产量  
**中图分类号** S718.43 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2010)05-02652-02

**Effect on Growth, Photosynthetic Characteristics and Yield of *Jatropha curcas* L. after Boarding on Spaceship**  
**HE Ming-xia et al.** (Sinao Normal School, Puer, Yunnan 665000)  
**Abstract** [Objective] In order to create new germ plasm, space technology was used on *Jatropha curcas* L. [Method] The seeds of 2 provenances of *Jatropha curcas* L. were carried by spaceship, and the growing development, photosynthetic characteristics and the seeds yield of single plant were analyzed. Correlations between the yield and the growth parameters and photosynthetic characteristics were researched. [Result] The growth of 2 provenances was promoted after boarding on the spaceship. Photosynthetic capacity and yield of *Jatropha curcas* L. was also improved after boarding on spaceship. The yield of *Jatropha curcas* L. was closely related with the height, ground diameter, width, number of branch and maximum rate of net photosynthesis. [Conclusion] It was possible to create new germ plasm using space technology.  
**Key words** *Jatropha curcas* L.; Boarding on spaceship; Growth; Photosynthesis; Yield

能源是人类社会生存和发展的必需品。发展生物质能源已经成为全球的共识。小桐子 (*Jatropha curcas*) 属大戟科 (Euphorbiaceae) 麻风树属, 落叶灌木或小乔木, 其种仁含油率可达 61.15%, 是热带地区极为适宜的一种生物能源<sup>[1-5]</sup>, 最有可能在未来替代石化能源<sup>[6]</sup>, 但由于小桐子产量较低, 极大地限制了它的广泛应用<sup>[7-8]</sup>。因此, 开展小桐子的育种工作, 选育出产量高、种子出油率高、适应性强的新品种, 在当前能源危机的关头是很有必要的。

在自然条件下, 植物自发突变频率极低, 并且因植物种类和基因的不同而存在差异。一般来说, 个体植株发生突变的频率介于  $10^{-3} \sim 10^{-4}$ , 单个基因则介于  $10^{-5} \sim 10^{-6}$ <sup>[9]</sup>。利用辐射诱发植物的基因突变或染色体结构变异、倍性变异, 可使突变频率提高千倍以上, 从而使定向地创造和筛选变异成为可能。2006 年 9 月利用返回式卫星搭载小桐子种子, 研究航天搭载对小桐子当代植株生长、光合特性、种子产量的影响, 并且初步探讨了影响小桐子产量的生长和光合生理因子间的关系, 以期为航天技术有效地运用于小桐子诱变育种提供依据。

**1 材料与方法**

**1.1 材料** 以 2 个种源地 (云南版纳、元阳) 的小桐子种子 (均取自散生林中同一单株) 为供试材料, 以下简称“版纳种源”和“元阳种源”。将 2 个种源的种子分为 2 组, 一组进行航天搭载 (HT), 另一组未搭载作为对照 (CK)。其中, 搭载组种子随“实践 8 号”育种卫星经 18 d 绕地球轨道运行, 对照组在地面常温下干燥保存。

**1.2 试验地概况** 该试验在中国科学院西双版纳热带植物园进行。该园位于  $21^{\circ}14'N$ ,  $101^{\circ}25'E$ , 海拔高度 600 m, 年均温  $21.8^{\circ}C$ , 绝对最低温  $3.7^{\circ}C$ , 绝对最高温  $40.5^{\circ}C$ , 年降雨量 1 454 mm, 属热带季风气候, 土壤为砖红壤。

**1.3 测定方法**

**1.3.1 植株生长指标的测定。** 将航天搭载及对照成活幼苗定植于小桐子良种繁育基地。采用对比试验, 双行定植, 间隔取样, 航天搭载与对照材料分别取 45 株。在 2008 年秋季小桐子植株停止生长后, 分别调查植物株高、地径、冠幅 (东西走向和南北走向各测定 1 次, 取平均值)、分枝数 (顶端)。

**1.3.2 光合特性的测定。** 光响应曲线用 LI-6400 型便携式光合测定系统测定。在不同  $PF D$  ( $2\ 000$ ,  $1\ 500$ ,  $1\ 000$ ,  $600$ ,  $200$ ,  $150$ ,  $100$ ,  $50$ ,  $20$  和  $0\ \mu mol/(m^2 \cdot s)$ ) 下测定叶片的净光合速率, 每种光强下记录净光合速率稳定时值, 根据光响应曲线求得光合作用的光响应参数。在 2008 年 10 月中旬, 选择晴天 (9:00~11:00) 进行, 重复 10 次。

**1.3.3 平均单株种子产量、含油率的测定。** 果实随熟随采, 采收后按处理、单株分别装袋, 晾晒, 待果皮自然风干后剥去果皮, 测定种子单株总产量。种子含油率的测定方法参照文献 [10]。

**2 结果与分析**

**2.1 航天搭载对小桐子生长指标的影响** 由表 1 可知, 2 个种源航天搭载处理植株的各生长指标均高于对照。其中, 版纳种源处理的株高、冠幅和分枝数均在 0.01 水平显著高于对照, 处理的地径高于对照, 但差异不明显; 元阳种源处理的株高、地径和冠幅明显高于对照, 分枝数高于对照, 但差异不明显。由此可知, 航天搭载对小桐子植株生长有明显的促进作用。

**2.2 航天搭载对小桐子光合特性的影响** 由表 2 可知, 2 个种源航天搭载处理的最大净光合速率和光饱和点明显高于对照, 说明航天搭载诱变提高了植株最大净光合速率和光饱和点, 即提高了小桐子的光合能力。版纳种源处理的表现

基金项目 国家科技支撑计划项目 (2007BAD50B03, 2007BAD32B01); 中国科学院“西部之光”人才培养项目; 中国科学院方向性项目 (KSCX2-YW-G-027)。

作者简介 何明霞 (1981-), 女, 甘肃陇西人, 硕士研究生, 研究方向: 森林培育与植物育种。\* 通讯作者。

收稿日期 2009-11-04

量子效率明显高于对照,而元阳种源处理与对照无明显差异,说明航天搭载对版纳种源的表现量子效率影响明显。2种源处理与对照光补偿点间不存在差异。

表 1 航天搭载对小桐子生长指标的影响

| Table 1 Effect of boarding on spaceship to the growth index of <i>Jatropha curcas</i> L. |           |                           |                         |                           |                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 种源                                                                                       | 处理        | 株高// cm                   | 地径// cm                 | 冠幅// cm                   | 分枝数(No.)                 |
| Seed source                                                                              | Treatment | Plant height              | Ground diameter         | Crown width               | Branch                   |
| 版纳                                                                                       | HT        | 297.64±23.39 <sup>*</sup> | 17.31±3.84              | 222.78±36.37 <sup>*</sup> | 38.69±16.48 <sup>*</sup> |
|                                                                                          | CK        | 271.81±46.39              | 16.07±3.62              | 199.68±44.79              | 27.44±11.66              |
| 元阳                                                                                       | HT        | 293.44±39.80 <sup>*</sup> | 20.96±6.90 <sup>*</sup> | 216.04±52.00 <sup>*</sup> | 40.29±17.18              |
|                                                                                          | CK        | 267.76±24.13              | 15.49±2.46              | 196.29±31.34              | 37.56±15.91              |

注: \*、\* \* 分别表示在 0.05、0.01 水平上差异显著。下同。  
Note \* and \* \* indicate significant difference at 0.05 and 0.01 level. The same as follows.

表 2 小桐光合参数的比较

| Table 2 The photosynthetic parameters comparison of <i>Jatropha curcas</i> L. |           |                         |                           |            |                          |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------|---------------------------|------------|--------------------------|
| 种源                                                                            | 处理        | A <sub>max</sub>        | LSP                       | LCP        | AQY                      |
| Seed source                                                                   | Treatment |                         |                           |            | μmol/(m <sup>2</sup> ·s) |
| 版纳                                                                            | HT        | 29.30±0.84 <sup>*</sup> | 523.00±45.19 <sup>*</sup> | 25.00±2.02 | 0.08±0.07 <sup>*</sup>   |
|                                                                               | CK        | 26.20±0.58              | 401.00±24.58              | 22.00±8.02 | 0.05                     |
| 元阳                                                                            | HT        | 29.12±0.51 <sup>*</sup> | 567.00±31.40              | 32.00±3.76 | 0.05                     |
|                                                                               | CK        | 24.57±1.10              | 504.00±27.06              | 29.00±5.34 | 0.05                     |

注: A<sub>max</sub>、LSP、LCP、AQY 分别为最大净光合速率、光饱和点、光补偿点、表观量子效率。  
Note A<sub>max</sub> Maximum rate of net photosynthesis; LSP Light saturation point; LCP Light compensation point; AQY Apparent quantum efficiency.

2.3 航天搭载对小桐子产量、含油率的影响 由表 3 可知,航天搭载对小桐子产量的影响有显著差异(P<0.01)。这说明航天搭载有利于小桐子单株产量的提高。航天搭载对 2 个种源种子群体含油率的影响不明显,但 2 个种源种子含油率的变化范围(变异幅度)较对照明显增加。这说明航天搭载扩大了小桐子种子含油率的变异幅度。航天搭载的 2 个种源处理中都出现了较多低含油率和高含油率的植株<sup>[1]</sup>。

表 3 航天搭载对小桐子产量、含油率的影响  
Table 3 Effect of the boarding on spaceship on the yield and oil rate of *Jatropha curcas* L.

| 种源                           | 处理 | 种子产量// g/株                 |  | 种子含油率// %     |  |
|------------------------------|----|----------------------------|--|---------------|--|
|                              |    | Seed yield                 |  | Seed oil rate |  |
| 版纳<br>Banna seed resource    | HT | 339.50±213.82 <sup>*</sup> |  | 35.37±2.95    |  |
|                              | CK | 183.15±152.61              |  | 35.51±1.63    |  |
| 元阳<br>Yuanyang seed resource | HT | 363.71±240.32 <sup>*</sup> |  | 35.11±3.68    |  |
|                              | CK | 219.66±134.54              |  | 35.17±2.28    |  |

2.4 影响小桐子产量的因子 经相关分析,小桐子产量与生长、光合因子的相关性系数为株高 0.41<sup>\*</sup>,地径 0.49<sup>\*</sup>,冠幅 0.35<sup>\*</sup>,分枝数 0.54<sup>\*</sup>,最大净光合速率 0.56<sup>\*</sup>。由此可知,在形态性状上,小桐子产量与株高、地径、冠幅和分枝数有显著的相关性。光合作用是农作物干物质积累和产量的基础。作物产量与光合作用的强弱有关。农作物的光合生产力涉及光合产物的消耗(呼吸)、运转与分配和作物的开花结实等因素的影响,以及光合速率测定的瞬时性。作物产量和光合速率并不一定有显著的相关性<sup>[12]</sup>。该研究表明,小桐子在生长旺季的最大净光合速率与产量之间呈 0.05 水平显著正相关。这与一些农作物的研究结果相一致<sup>[13-14]</sup>。由此可知,生长旺季小桐子光合能力的大小可以作为间接评价小桐子产量高低的指标。

3 结论与讨论

研究表明,小桐子经航天搭载处理后,在生长、光合特

性、产量等方面发生了一些变化。具体表现为航天搭载促进了植株生长,提高了小桐子的产量和植株光合能力。植物光合作用能力的强弱与植物的遗传性、生长环境关系密切。光合作用的某些生理参数,如 A<sub>max</sub>、LSP、LCP 等,已成为植物速生丰产以及制定栽培措施的科学依据。2 个种源小桐子经航天搭载处理后的 A<sub>max</sub>、LSP 均明显高于对照。这说明航天搭载使得植株的光合能力增强,无论是在高光环境还是在弱光环境都有较强的适应能力。这也是处理植株生长迅速、产量增加的原因。利用航天搭载进行小桐子种质创新是可行的。但这些变化是否会引起下一代发生变异,有待于进一步研究。该研究为选育高产、高油和抗逆性强的优良小桐子品种提供了丰富的育种材料,为进一步研究太空环境诱发突变的生物学基础提供了参考。

参考文献

[1] 赵宗宝,华艳艳,刘波.中国如何突破生物柴油产业的原料瓶颈[J].中国生物工程杂志,2005,25(11):1-6.  
[2] 吴国江,刘杰,姜治平,等.能源植物的研究现状及发展建议[J].中国科学院院刊,2006,21(1):53-57.  
[3] 王岩,龙春林,程治英.能源植物小桐子利用与研究进展[J].安徽农业科学,2007,5(2):426-427,429.  
[4] GRIMM C. Evaluation of damage to physic nut (*Jatropha curcas*) by true bugs [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1999, 92: 127-136.  
[5] 费世民,张旭东.国内外能源植物资源及其开发利用研究[J].四川林业科技,2005,26(3):20-26.  
[6] OPENSHAW K. A Review of *Jatropha curcas* an oil plant unfulfilled promise [J]. Biomass Bioenergy, 2000, 19: 1-15.  
[7] 张无敌,宋洪川,韦洪岩,等.小桐子开发与元谋县生态环境保护[J].云南师范大学学报:自然科学版,2001,21(5):37-42.  
[8] 施宗明,李云,杨林.能源植物小桐子的开发利用和栽培研究[J].云南师范大学学报:自然科学版,1992,12(2):31-37.  
[9] 马惠平,赵永亮,杨光宇.诱变技术在作物育种中的应用[J].遗传,1998,20(4):48-50.  
[10] 唐敏,桂西南麻疯树生长、种仁含油率及其与环境的相关性研究[D].南宁:广西大学,2007.  
[11] 何明霞.航天搭载对小桐子诱变效应的初步研究[D].雅安:四川农业大学,2007.

(下转第 2656 页)

的增加,种子萌发恢复率呈下降趋势。

从种子萌发的恢复速率来看,未萌发的种子转至蒸馏水中后 24 h内即开始萌发,第 2~ 4天达到萌发恢复高峰。盐浓度高于临界值时,盐溶液处理的种子恢复萌发的速率和恢复萌发率均低于临界浓度值内的处理。

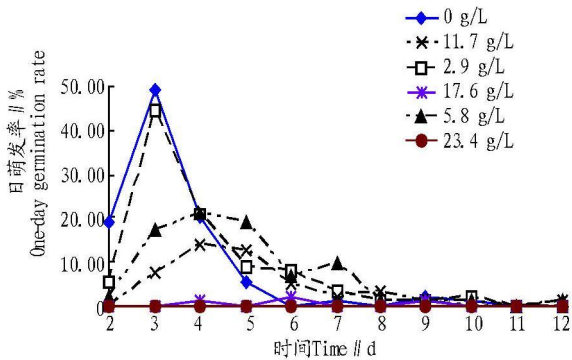


图 2 NMS对绒毛白蜡种子日萌发率的影响

Fig 2 Effects of NMS on one-day germination rate of *F. velutina* seed

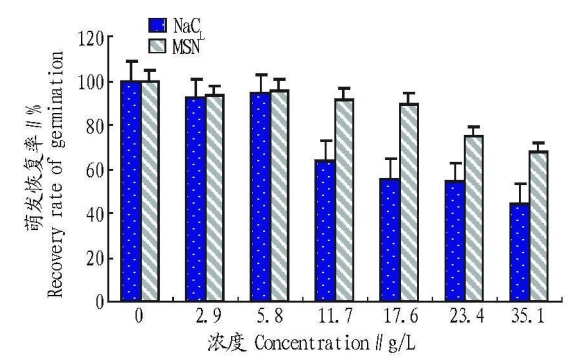


图 3 复水后绒毛白蜡种子的萌发恢复率

Fig 3 The germination recovery rate of *F. velutina* seed after rehydration

3 结论与讨论

高浓度盐对绒毛白蜡种子萌发具有显著的抑制作用,低浓度盐可降低种子的发芽势和发芽指数,但对种子总萌发率影响不大。这一结果与吴永波等对绒毛白蜡种子萌发效应的研究结果一致<sup>[5]</sup>。盐胁迫对盐生植物种子萌发的抑制作用不仅表现在降低种子的萌发率和萌发速率上,而且还表现

在推迟种子初始萌发时间、降低种子萌发速率等方面。

2 9 g/L的 NMS盐溶液中,绒毛白蜡种子萌发率与对照无显著差异,但其生长发育状况与对照差异显著。可见,在测定种子耐盐性时,仅通过比较萌发率来评价植物的耐盐性不够精确。

不同种类盐溶液对绒毛白蜡种子萌发具有不同的影响。该试验表明,绒毛白蜡种子对 NMS盐胁迫具有更大的萌发耐受能力,其萌发盐浓度的临界值远高于单盐 NaCl溶液。

复水试验结果表明,盐胁迫下绒毛白蜡种子仍具有较高的萌发潜力。盐浓度超过临界浓度上限时,随着盐处理浓度的增加,种子的萌发潜力逐渐降低。可见,盐胁迫下种子的萌发能力并没有完全丧失,这可能是种子在长期的进化过程中,适应胁迫的一种应变能力。胁迫存在时不萌发,可避免幼苗受高浓度盐害;盐胁迫一旦得到缓解或解除时,种子即迅速萌发,并完成其生活史。另外,高浓度混合盐溶液胁迫处理的种子,其复水后的萌发恢复率显著高于单盐 NaCl溶液处理,可见单盐溶液对种子的伤害较大。

盐害机理是当今研究的热点,该试验仅对绒毛白蜡萌发阶段的盐胁迫进行了初步探讨,测定了绒毛白蜡种子的萌发临界盐浓度和极限盐浓度。当土壤含盐量在临界值内时,可在种子萌发期间适当增加浇水量,有效提高盐碱地种子的萌发率。该试验表明,黄河三角洲地区绒毛白蜡种子萌发耐受的盐浓度在 11 12% 以下,高于此盐浓度时,种子萌发率将低于 50%。

参考文献

[ 1 ] 王丽, 徐排胜, 张承敏, 等. 美国白蜡、绒毛白蜡引种育苗试验初报 [ J ]. 江苏林业科技, 2006 33( 6 ): 26- 27

[ 2 ] 曹帮华, 吴丽云, 武德, 等. 产自盐碱地的绒毛白蜡种子抗盐萌发特性研究 [ J ]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2006 37( 4 ): 509- 512

[ 3 ] 吴敏, 曹帮华. 盐胁迫下盐碱地和非盐碱地绒毛白蜡种子的发芽和生理特性研究 [ J ]. 种子, 2006 25( 4 ): 4- 7

[ 4 ] 吴永波, 薛建辉. 盐胁迫对 3 种白蜡树幼苗生长与光合作用的影响 [ J ]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002 26( 3 ): 19- 22

[ 5 ] 吴永波, 薛建辉, 李火根. 氯化钠处理下绒毛白蜡种子的耐盐性 [ J ]. 南京林业大学学报, 2000 24( 5 ): 37- 40

[ 6 ] MA E, FU SS, ZHANG HB. Effects of excessive Mg<sup>2+</sup> on the germination characteristics of crop seeds [ J ]. Agricultural Science & Technology 2008 9( 2 ): 26- 29

[ 7 ] 白春利, 阿拉塔, 塔娜, 等. 盐分胁迫下乌拉特肋脉野豌豆种子萌发特性的研究 [ J ]. 畜牧与饲料科学, 2008 29( 3 ): 7- 10

(上接第 2653 页)

[ 12 ] 蔡志全, 蔡传涛, 齐欣, 等. 施肥对小粒咖啡生长、光合特性和产量的影响 [ J ]. 应用生态学报, 2004 15( 9 ): 1561- 1564

[ 13 ] FAVILLE M J, SILVESTER W B, GREEN T G A. Photosynthetic characteristics of three asparagus cultivars differing in yield [ J ]. Crop Sci 1999 39: 1070- 1077

[ 14 ] GARDNER F P, PEARCE R B, MITCHELL R L. Photosynthesis is physiology of crop plants [ M ]. Ames: Iowa State University Press 1985: 3- 30

[ 15 ] WU ZX, ZIE GS, TAO ZL. Study on photosynthetic characteristics of *Calophyllum inophyllum* linn [ J ]. Agricultural Science & Technology 2008 9( 3 ): 11- 16