

常如慧, 赵文博, 李 岩, 陈晓凤, 等. 蓖麻种子形成过程中脂肪酸的累积规律[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(22): 170–174.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.22.039

蓖麻种子形成过程中脂肪酸的累积规律

常如慧^{1,5}, 赵文博⁶, 李 岩^{4,7}, 陈晓凤¹, 李国瑞^{1,2,3,4}, 赵 永^{1,5}, 李丽丽¹, 杨丽凤¹, 黄凤兰^{1,2,3,4}

(1. 内蒙古民族大学生命科学学院, 内蒙古通辽 028000; 2. 内蒙古自治区高校蓖麻产业工程技术研究中心, 内蒙古通辽 028000;

3. 内蒙古自治区蓖麻育种重点实验室, 内蒙古通辽 028000; 4. 内蒙古自治区蓖麻产业协同创新培育中心, 内蒙古通辽 028000;

5. 东北林业大学生命科学学院, 黑龙江哈尔滨 150040; 6. 兴安职业技术学院, 内蒙古乌兰浩特 137400;

7. 通辽市农业科学研究院, 内蒙古通辽 028000)

摘要: 为了研究不同发育时间蓖麻种子中各种脂肪酸的动态变化, 分析蓖麻油酸与种子中其他脂肪酸成分的关系, 采用索氏提取法及毛细管气相色谱法, 对不同发育时间“2129”蓖麻种子中各种成分的绝对含量进行测定, 以期在蓖麻高油品质育种研究提供参考依据。结果表明, 蓖麻种子形成过程中, 饱和脂肪酸含量呈不断上升的趋势, 在 40 d 后趋于稳定; 饱和脂肪酸大多在 20 d 时含量达到最高, 随后降低并趋于稳定或检测不到, 种子形成过程中脂肪酸以蓖麻油酸为主要组分。将脂肪酸积累分为积累初期、快速积累期和稳定积累期 3 个阶段。在授粉后 40 d 时种子达到物质积累和发育的分界点, 60 d 时种子成熟, 脂肪酸含量稳定。

关键词: 蓖麻种子; 粗脂肪; 脂肪酸; 蓖麻油酸; 动态变化

中图分类号: S565.601 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)22-0170-04

蓖麻 (*Ricinus communis* L.) 是一种特殊的工业油源作物^[1], 主要以种子为原料榨油。蓖麻油中的脂肪酸主要以蓖麻油酸为主, 其在工业用油中是唯一以含羟基酸为主的脂肪酸, 也包括油酸、棕榈酸和亚油酸等, 其饱和脂肪酸总量高达 88% 左右。中国作为世界上第二大蓖麻产业国, 由于蓖麻产量低、收购价格低等原因, 导致蓖麻种植面积逐年萎缩、种子供不应求, 因此蓖麻育种的最主要的目标之一是高产^[2-4]。对于蓖麻高油品质育种的研究最近几年才刚刚开始^[5-6]。虽然从 20 世纪 70 年代就陆续有对蓖麻种子中脂肪酸研究的相关报道^[7-8], 且对某种蓖麻材料种子中脂肪酸成分的相对含量、对多个蓖麻材料种子中脂肪酸的绝对含量也有人进行过研究^[9], 但是对不同发育时间蓖麻种子中各种脂肪酸绝对含量进行测定的研究尚未见相关报道。

本研究采用索氏提取法、毛细管气相色谱法, 以“2129”高油品系不同发育时间蓖麻种子为试验材料, 测定不同发育时间蓖麻种子中各种脂肪酸成分的含量, 研究其中各种脂肪酸的动态变化, 对蓖麻油酸与其他几种脂肪酸的线性回归关系进行分析, 以期在蓖麻的高油品质育种研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

所选用的试验材料为“2129”高油品系分别发育至 10、20、30、40、50、60 d 的蓖麻种子, 由内蒙古自治区高校蓖麻产业工程技术研究中心提供。

1.2 试验仪器

ProgRes C5 照相机、游标卡尺 (精度 0.01 mm)、电子天平 (精度 0.000 1 g)、气相色谱、磨口烧瓶、回流冷凝器、沸石 (脱脂)、自动加样器、玻璃瓶、分液漏斗、旋转蒸发仪、索氏脂肪抽提器。

1.3 试验试剂

水 (符合 GB/T 6682—2008《分析实验室用水规格和试验方法》中 3 级水的要求)、乙醚、0.5 mol/L NaOH/甲醇溶液、质量分数为 12%~15% 的三氟化硼/甲醇溶液、饱和 NaCl 溶液、无水硫酸钠、异辛烷 (色谱纯)、十七碳烯酸甘油三酯 (C17:1 标准品)。

1.4 试验方法

1.4.1 种子形态指标的测定 随机选取发育至 10、20、30、40、50、60 d 的蓖麻种子各 10 粒, 利用游标卡尺对种子的长度进行测量, 求其平均值。将种子装入确定容积的容器内, 加水、称质量, 根据容器内水和种子的总质量、水的质量与体积、种子总粒数, 进而得到其平均体积数。

1.4.2 种子质量指标的测定 随机选取发育至 10、20、30、40、50、60 d 的蓖麻种子各 100 粒, 测百粒质量 (g), 去掉外种

收稿日期: 2018-08-14

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 31160290、31460353、31401418); 内蒙古自治区自然科学基金面上项目 (编号: 2017MS0339); 内蒙古自治区科技创新引导奖励资金 (编号: KJCX15002); 内蒙古自治区“草原英才”计划 (编号: 201511); 内蒙古自治区草原英才创新团队支持项目 (2017); 内蒙古自治区高等学校科学研究项目 (编号: NJZY14187); 内蒙古自治区蓖麻育种重点实验室开放基金 (编号: MDK2016031、MDK2016030); 内蒙古自治区高校蓖麻产业工程技术研究中心开放基金 (编号: MDK2017030、MDK2016008); 内蒙古自治区研究生教育创新计划 (编号: S20171013604); 内蒙古民族大学研究生科研创新资助项目 (编号: NMDSS1755); 内蒙古民族大学 2017 年研究生重点建设课程项目 (生物工程技术原理)。

作者简介: 常如慧 (1992—), 女, 内蒙古通辽人, 硕士, 研究方向为植物生物化学与分子生物学。E-mail: crh1107@126.com。

通信作者: 黄凤兰 (1973—), 女, 山东菏泽人, 博士, 教授, 主要从事蓖麻分子育种研究。E-mail: 329341679@qq.com。

皮后测定其鲜种仁百粒质量(g)。将去皮鲜种仁在 60℃ 下烘干至恒质量,测其烘干后种仁的质量。通过以下公式计算鲜种仁率和烘干种仁率:

$$R_a = m_a / m \times 100\%; \quad (1)$$

$$R_b = m_b / m \times 100\%。 \quad (2)$$

式中: R_a 为鲜种仁率,%; R_b 为烘干种仁率,%; m_a 为鲜种仁百粒质量,g; m_b 为烘干种仁百粒质量,g; m 为种子百粒质量,g。

1.4.3 种子中粗脂肪含量测定 参照《中华人民共和国国家标准谷类、油料作物种子粗脂肪测定方法》(GB 2906—1982)进行操作。随机选取种子形成各时间的蓖麻百粒烘干种仁,采用索氏提取法提取其粗脂肪,得到种子形成各时间百粒烘干种仁中的粗脂肪绝对含量(g)(即为百粒种子中粗脂肪绝对含量),计算蓖麻百粒种子、鲜种仁和烘干种仁中粗脂肪的相对含量。通过以下公式进行计算:

$$X_a = A / m_a \times 100\%; \quad (3)$$

$$X_b = A / m_b \times 100\%; \quad (4)$$

$$X = A / m \times 100\%。 \quad (5)$$

式中: A 为百粒烘干种仁中粗脂肪绝对含量,g; X_a 为鲜种仁中粗脂肪相对含量,%; X_b 为烘干种仁中粗脂肪相对含量,%; X 为种子中粗脂肪相对含量,%。

1.4.4 种子粗脂肪中脂肪酸相对含量测定 对 6 个形成时间蓖麻种子中粗脂肪制备的脂肪酸甲酯进行色谱分析;通过检索和计算,得到蓖麻种子粗脂肪中各种脂肪酸成分的相对含量(%)。

1.4.5 种子中脂肪酸绝对含量测定 根据不同发育时间蓖麻种子粗脂肪中各种脂肪酸成分的相对含量,计算种子形成各时间百粒种子中脂肪酸绝对含量。蓖麻种子种仁中含有水分、蛋白质、粗脂肪等,粗脂肪中含有多多种脂肪酸。通过以下公式计算百粒种子中脂肪酸绝对含量、水分含量和蛋白质含量:

$$Y = m \times X \times Z; \quad (6)$$

$$H = m_a - m_b; \quad (7)$$

$$P = m_b - A。 \quad (8)$$

式中: Y 为百粒种子中脂肪酸绝对含量,g; X 为百粒种子中粗脂肪相对含量,%; H 为百粒种子中水分含量,g; P 为百粒种子中蛋白质含量,g。

1.5 数据分析

使用 SPSS 19.0 软件进行单因素 ANOVA 方差分析、最近距离法系统聚类分析和相关性分析,使用 GraphPad Prism 和 Excel 软件对所得数据进行作图。

2 结果与分析

2.1 种子形成过程中形态变化

蓖麻蒴果在发育过程中于授粉后 10 d 时种皮为白色,随着发育时间的延长,其种皮颜色逐渐加深,直至变为黑色,并伴有花纹;于授粉后 40 d 内逐渐长大,40 d 后蒴果果皮逐渐干燥、开裂,60 d 时蒴果完全开裂,达到成熟状态(图 1)。种子也于授粉后 40 d 内逐渐长大,40 d 后种皮变硬、颜色加深,种子变小。授粉后 40 d 种子逐渐发育到最大,长度达到最大值 1.52 cm,体积达到 2.27 cm³;之后种子的长度和体积均逐渐变小(图 2)。

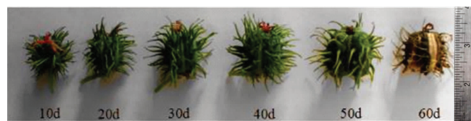


图1 发育过程中蓖麻蒴果

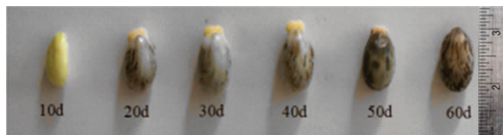


图2 发育过程中蓖麻种子

2.2 种子形成过程中质量变化

蓖麻种子在形成过程中其鲜质量和干质量均存在明显差异,由于在形成过程中干物质的不断积累和水分的持续吸收,蓖麻种子的百粒质量、鲜种仁百粒质量在授粉后 0~40 d 内迅速增加,随后逐渐降低,趋于稳定;而鲜种仁率、烘干种仁百粒质量、烘干种仁率则持续增加,在授粉后 60 d 时达到最大值(图 3-B),并且随着发育时间的延长,种子中水分含量逐渐减少,蛋白质含量逐渐增加(图 3-D)。因此,蓖麻种子在形成过程中干物质不断积累,水分含量不断降低。并且授粉后 40 d 种子百粒质量、鲜种仁百粒质量达到最大值;授粉后 60 d 种子的鲜种仁率、烘干种仁百粒质量、烘干种仁率达到最大(图 3-B)。

2.3 种子形成过程中粗脂肪含量变化

随着种子逐渐形成,种子中粗脂肪绝对含量、烘干种仁中粗脂肪相对含量、种仁中粗脂肪相对含量、种子中粗脂肪相对含量具有明显提高(图 3-C),与种子中干物质积累的规律基本保持一致。

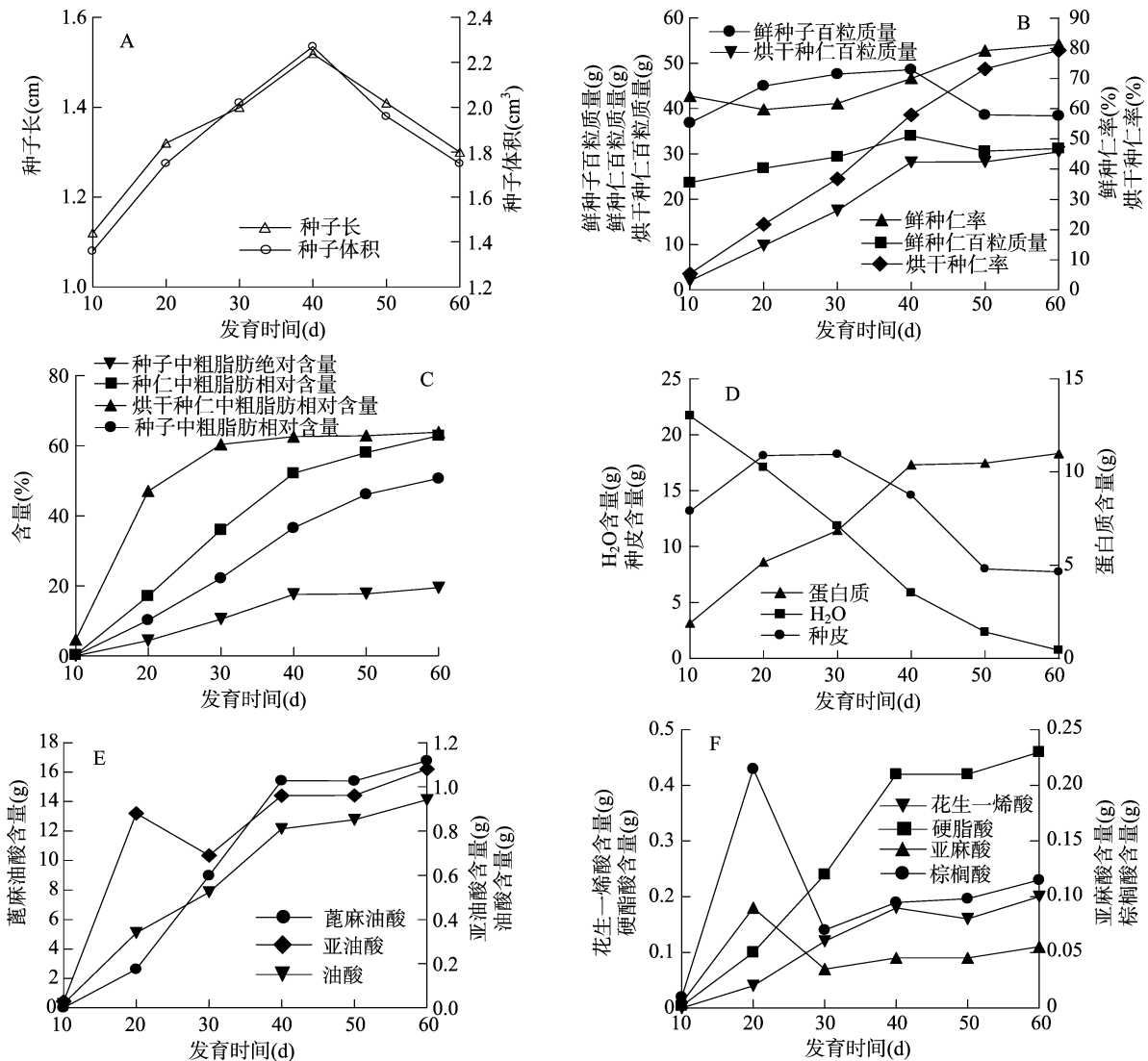
2.4 种子粗脂肪中脂肪酸含量变化

在种子形成过程中共检测到 6 种饱和脂肪酸和 5 种不饱和脂肪酸。其中含量最高的是不饱和脂肪酸中的蓖麻油酸,其次是油酸和亚油酸;饱和脂肪酸中豆蔻酸只在 20 d 时可以检测到,其他时间均检测不到,山嵛酸和二十碳烷酸在 10 d 和 20 d 时可以检测到,但在 30 d 后检测不到,花生酸在 20 d 后可检测到,但含量无显著变化(表 1)。蓖麻油酸、亚油酸和油酸随着发育时间的延长而稳步上升(图 3-E),亚麻酸和棕榈酸在 20 d 时含量达到最高,随后降低并趋于稳定,花生一烯酸和硬脂酸在 0~40 d 时含量有小幅增长,随后保持稳定(图 3)。

为了进一步了解蓖麻种子在形成过程中蓖麻油酸与脂肪酸各组分之间的关系,对其进行相关性分析,结果见表 2。百粒蓖麻种子中蓖麻油酸绝对含量与棕榈酸、亚麻酸、花生酸绝对含量呈正相关,与亚油酸绝对含量呈显著正相关,与蛋白质、硬脂酸、油酸、花生一烯酸绝对含量呈极显著正相关;与种皮、豆蔻酸、山嵛酸、二十四碳烷酸绝对含量呈负相关,与水分绝对含量呈极显著负相关。

2.5 基于组成成分进行聚类分析

种子形成过程中的 6 个发育时期可以分成 2 类,40、50、60 d 为第 I 类,此 3 个发育时间种子中的蛋白质、蓖麻油酸等绝对含量较高,种皮和水分的绝对含量较低;10、20、30 d 为第 II 类,此 3 个发育时间种子中的蛋白质、蓖麻油酸等含量较低,种皮和水分的含量相对较高(图 4、图 5)。



A—发育过程中种子大小; B—发育过程中种子质量; C—发育过程中种子粗脂肪含量;
D、E、F—发育过程中百粒种子中各种成分含量

图3 种子发育过程中的生理生化变化

表 1 种子发育过程中脂肪酸的绝对含量

发育时间 (d)	绝对含量(g)			
	花生酸	豆蔻酸	山嵛酸	二十四碳烷酸
10	0 ± 0a	0 ± 0a	0.001 ± 0b	0.001 ± 0b
20	0.01 ± 0a	0.01 ± 0b	0.009 ± 0c	0.01 ± 0c
30	0.01 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a
40	0.01 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a
50	0.01 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a
60	0.01 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a	0 ± 0a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

3 结论与讨论

在本研究中,授粉后 40 d 时种子长度、体积逐渐发育到最大,之后又逐渐变小。40 d 时种子百粒质量、鲜种仁百粒质量达到最大值;60 d 时鲜种仁率、烘干种仁百粒质量、烘干种仁率达到最大。蓖麻种子形成过程中,不饱和脂肪酸含量呈不断上升的趋势,在 40 d 后趋于稳定;饱和脂肪酸大多在

20 d 时含量达到最高,随后降低并趋于稳定或检测不到,种子形成过程中脂肪酸以蓖麻油酸为主要组分。徐杰等对发育过程中大豆籽粒的脂肪酸累积动态进行研究,发现随着棕榈酸和亚麻酸含量的下降,硬脂酸、油酸和亚油酸含量有所上升^[10]。张尧锋等以甘蓝型高油酸油菜为试验材料,对其籽粒发育过程中的脂肪酸组成累积变化进行研究,发现所有饱和脂肪酸含量随着籽粒发育时间的延长而下降,在不饱和脂肪酸中,油酸含量随籽粒发育时间的延长急剧增加,亚油酸和亚麻酸含量则与之相反,呈现出显著下降状态^[11]。刘念等研究指出,油菜中脂肪酸的主要组成成分是棕榈酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、芥酸等,在不同的油菜品种中各种脂肪酸的相对比例也各有不同^[12]。前人研究结果表明,不同品种种子或籽粒在形成的各个阶段其脂肪酸组成成分和含量变化均有所不同。综上,可将脂肪酸积累分为 3 个阶段:10 ~ 20 d 时为积累初期,20 ~ 40 d 时为快速积累期,40 ~ 60 d 时为稳定积累期。在授粉后 40 d 时种子达到物质积累和发育的分界点,60 d 时种子成熟,脂肪酸含量稳定。

表 2 种子形成过程中各种成分绝对含量的相关性分析

成分	相关系数													
	种皮	水分	蛋白质	豆蔻酸	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	花生酸	花生一烯酸	山嵛酸	二十四碳烷酸	蓖麻油酸
种皮	1													
水分	0.659	1												
蛋白质	-0.531	-0.982 **	1											
豆蔻酸	0.507	0.418	-0.330	1										
棕榈酸	0.211	-0.146	0.240	0.834 *	1									
硬脂酸	-0.585	-0.988 **	0.991 **	-0.447	0.115	1								
油酸	-0.547	-0.988 **	0.998 **	-0.331	0.242	0.990 **	1							
亚油酸	-0.253	-0.817 *	0.879 *	0.145	0.665	0.812 *	0.881 *	1						
亚麻酸	0.182	-0.224	0.317	0.783 *	0.995 **	0.196	0.322	0.726	1					
花生酸	0.015	-0.687	0.771	0.200	0.664	0.694	0.773	0.942 **	0.724	1				
花生一烯酸	-0.508	-0.969 **	0.977 **	-0.467	0.093	0.989 **	0.979 **	0.803 *	0.181	0.711	1			
山嵛酸	0.514	0.502	-0.423	0.994 **	0.773	-0.533	-0.424	0.041	0.714	0.090	-0.555	1		
二十四碳烷酸	0.513	0.494	-0.414	0.995 **	0.780	-0.525	-0.415	0.051	0.721 *	0.102	-0.546	1.000 **	1	
蓖麻油酸	-0.589	-0.985 **	0.984 **	-0.493	0.065	0.999 **	0.983 **	0.783 *	0.147	0.670	0.990 **	-0.576	-0.568	1

注: ** 表示在 0.01 水平显著相关; * 表示在 0.05 水平显著相关。

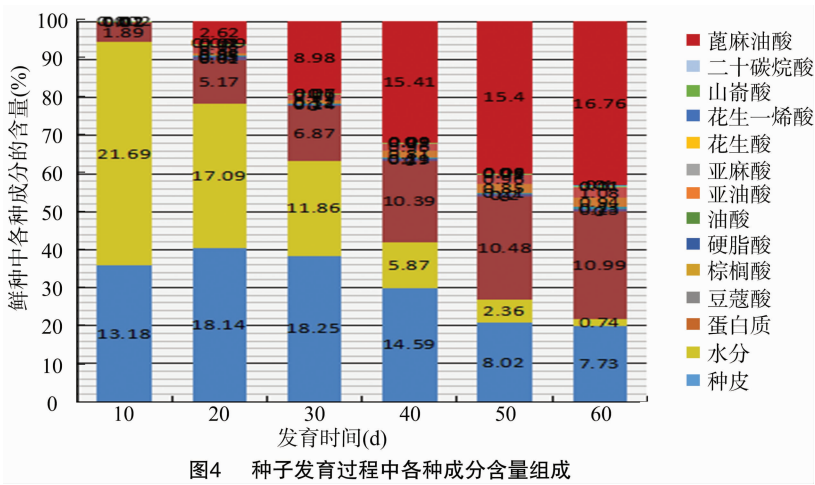


图4 种子发育过程中各种成分含量组成

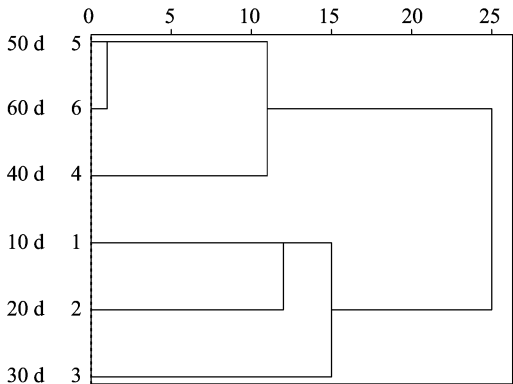


图5 种子发育过程中基于组成成分绝对含量的聚类分析

参考文献:

[1] Zhang Y, Mulpuri S, Liu A Z. High light exposure on seed coat increases lipid accumulation in seeds of castor bean (*Ricinus communis* L.), a nongreen oilseed crop [J]. Photosynthesis

Research, 2016, 128(2): 125-140.
[2] 王建华, 孙丽娟, 王光明, 等. 不同生态区蓖麻高产高效栽培技术规程[J]. 农业科技通讯, 2015(7): 235-237.
[3] 杨云峰, 王光明, 刘红光, 等. 杂交蓖麻轻简化高产栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2015(8): 208-210.
[4] Huang F L, Bao C G, Peng M, et al. Chromatographic analysis of fatty acid composition in differently sized seeds of castor accessions[J]. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 2015, 29(5): 892-900.
[5] Anastasi U, Sortino O, Cosentino S L, et al. Seed yield and oil quality of perennial castor bean in a Mediterranean environment [J]. International Journal of Plant Production, 2015, 9(1): 99-116.
[6] Mckeen T A, Chen G Q, Lin J T. Biochemical aspects of castor oil biosynthesis[J]. Biochemical Society Transactions, 2000, 28(6): 972-974.
[7] Lin J T, Arcinas A. Regiospecific analysis of diricinoleoylacylglycerols in castor (*Ricinus communis* L.) oil by electrospray ionization-mass spectrometry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(6): 2209-2216.

李 爽. 外源硅对干旱胁迫下大叶女贞光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(22): 174–178.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.22.040

外源硅对干旱胁迫下大叶女贞光合作用及叶绿素荧光特性的影响

李 爽

(武汉交通职业学院艺术学院, 湖北武汉 430063)

摘要:以盆栽大叶女贞幼苗为试材, 研究在 1% PEG-6000 模拟干旱胁迫条件下, 分别添加 0、0.2、0.4、0.6 g/kg 外源硅 (SiO_2) 对大叶女贞光合作用及叶绿素荧光特性的影响。结果表明, 随着干旱胁迫时间的延长, 不同硅水平处理的大叶女贞叶片相对含水量 (RWC)、光合色素含量、净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (T_r)、最大光化学效率 (F_v/F_m)、实际光化学效率 (Φ_{psII}) 及光化学淬灭系数 (q_p) 等均逐渐下降, 水分自然饱和亏 (NSD)、非光化学淬灭系数 (NPQ) 逐渐上升, 胞间二氧化碳浓度 (C_i) 则先降低后升高, 且不同硅水平处理的变化幅度存在显著差异, 以 0.4 g/kg 硅水平处理效果最佳。胁迫 12 d 时, 0.4 g/kg 硅水平处理的大叶女贞 RWC、叶绿素含量、类胡萝卜素含量、 P_n 、 G_s 、 T_r 、 F_v/F_m 、 Φ_{psII} 及 q_p 分别较 0 d 降低 15.4%、52.34%、17.83%、34.65%、38.43%、21.84%、21.84%、23.33% 和 32.00%, 而 NSD、NPQ 及 C_i 分别较 0 d 提升 20.68%、66.18% 和 6.71%。胁迫 12 d 时, 0.4 g/kg 硅水平处理的大叶女贞株高、茎粗及干质量分别较对照提升 41.66%、15.09% 和 35.08%。综上所述, 1% PEG-6000 模拟干旱条件下, 外源添加 0.4 g/kg 的 SiO_2 可明显改善大叶女贞的叶片水分状况, 抑制光合色素降解, 提高叶片的光合作用速率, 减轻光抑制程度, 促进大叶女贞生长。

关键词: 大叶女贞; 模拟干旱; 硅; 光合作用; 荧光参数

中图分类号: X173; S718.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)22-0174-05

干旱是我国较为常见的气象灾害之一, 严重影响植物的生长发育, 其危害程度在非生物逆境中占据首位^[1]。据统计, 我国干旱和半干旱地区主要集中于北方, 约占国土总面积的 56%, 而南方地区也因降水不均匀而常导致临时性干旱发生, 干旱胁迫已成为限制园林植物生长发育的主要障碍因子, 如何提高园林植物的耐旱性已成为当前亟待解决的关键问题之一^[2-3]。硅 (Si) 是植物生长发育不可或缺的元素之一, 在土壤含量非常丰富, 但常以不溶性硅酸盐形式存在, 因此, 土壤中可被植物吸收利用的硅含量往往较低^[4-5]。目前, 关于外援施硅对逆境下植物生长发育的影响, 前人进行了大量的研究。吴森等研究表明, 外援施硅可提高干旱胁迫下紫花苜蓿种子的发芽率、发芽势和胚根长, POD、SOD 和 CAT 活性增加, MDA 含量明显降低, 耐旱性提高^[6]; 杨慧颖等研究表

明, 外源施硅可使干旱胁迫下的肥皂草 POD、SOD 和 CAT 活性提高 30% 以上, 相对电导率和 MDA 含量降低 20% 以上, 有效提升了肥皂草的抗氧化能力, 减缓干旱胁迫对细胞膜造成的破坏^[7]; 郑世英等研究表明, 外源施用一定浓度的硅可有效促进干旱胁迫下野生大豆幼苗的生长, 抗氧化酶活性明显提升, 细胞膜透性明显降低, 可在一定程度上缓解其因干旱胁迫造成的伤害, 提高其抗旱能力^[8]; 曹逼力等研究表明, 外源添加 1.2 mmol/L $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 可明显改善 1% PEG-6000 模拟干旱胁迫条件下的番茄叶片水分状况, 提高光合色素的含量和光化学效率, 缓解因干旱胁迫造成的光抑制, 有助于维持番茄叶片在干旱胁迫下的高光合速率^[9]; 孙山等研究表明, 外源硅处理可明显降低干旱胁迫对甜茶叶片的 PS I 和 PS II 伤害程度, 通过提高光合系统活性来促进 PS I 环式电子传递, 甜茶幼苗的耐旱性得到显著提高^[10]; 林丽果等研究表明, 外源添加硅可显著提高盐胁迫下高羊茅的出苗率、生物量、光合速率 (P_n) 和气孔导度 (G_s), 降低蒸腾速率 (T_r) 和胞间二氧化碳浓度 (C_i), 提高其耐盐性^[11]; 李天哲等研究表明, 外援施

收稿日期: 2018-08-14

作者简介: 李 爽 (1983—), 女, 湖北武汉人, 硕士, 讲师, 主要从事园林植物栽培及环境设计研究。E-mail: 1846679582@qq.com。

[8] Kim H U, Lee K R, Go Y S, et al. Endoplasmic reticulum - located PDAT1 - 2 from castor bean enhances hydroxy fatty acid accumulation in transgenic plants [J]. Plant & Cell Physiology, 2011, 52 (6): 983 - 993.

[9] 曾 娟, 郭佩佩, 欧阳勇, 等. 海南蓖麻籽中脂肪酸的组成分析 [J]. 海南大学学报 (自然科学版), 2009, 27(3): 259 - 260.

[10] 徐 杰, 胡国华, 张大勇, 等. 大豆籽粒发育过程中脂肪酸组分

的累积动态 [J]. 作物学报, 2006, 32(11): 1759 - 1763.

[11] 张尧锋, 张冬青, 丁厚栋, 等. 甘蓝型高油油菜籽粒发育过程中脂肪酸的组成分析 [C]//中国作物学会油料作物专业委员会第六次代表大会暨学术年会论文集. 福州: 中国作物学会, 2008.

[12] 刘 念, 范其新, 蒙大庆, 等. 油菜籽粒发育过程中脂肪酸累积模式及相关分析 [J]. 江苏农业学报, 2014, 30(1): 21 - 26.