

高油酸花生遗传育种研究进展

陈 静

(山东省花生研究所, 青岛 266100)

摘要:花生是我国重要的油料作物,子仁中油酸和亚油酸的含量达到80%左右,其中油酸是影响花生油理化稳定性和营养价值的重要品质指标。“十五”以来,为进一步提升我国花生国际竞争力和满足国内人们对高品质花生油的消费需求,培育高油酸花生品种成为我国重要的花生品质育种目标之一。本文综述了国内外高油酸花生突变体、高油酸含量性状的遗传规律和分子机理、育成发放的高油酸花生品种的研究进展,对高油酸花生品种系谱、育成方式进行分析。分析高油酸花生育种中存在的问题,以期为我国高油酸花生育种提供参考。

关键词:花生;高油酸;育种;系谱分析

Advances in Genetics and Breeding of High Oleic Acid Peanut

CHEN Jing

(Peanut Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266100)

Abstract: Cultivated peanut (*Arachis hypogea* L.) is an important oilseed crop in China. Oleic content and linoleic content of peanut seed add up to 80%. Oleic acid is an important factor which affects physical and chemical stability, also nutritional value of peanut oil. Breeding peanut variety with high oleic content is an important breeding objective of peanut quality to promote international competitiveness and meet domestic consumption demand since 2000. Increasing oleic content in peanut significantly improves the nutritional quality. In this paper, we summarized mutants of high oleic peanut, the genetic characteristics of high oleic acid content, analyzed pedigree relationship of high oleic acid peanut varieties and developing methods. Our purpose is to improve high oleic breeding of Chinese peanut.

Key words: Peanut; High oleic acid; Breeding; Pedigree analysis

花生是我国重要的油料作物。我国花生常年播种面积467万 hm^2 ,总产约1400万t,占世界花生总产的40%;单产3000kg以上,仅次于美国和以色列;国际市场上花生贸易量约150万t(子仁),其中60万~80万t来自我国,所占市场份额接近50%^[1-3]。花生子仁中脂肪含量达50%左右,其中油酸和亚油酸含量占80%左右,且油酸含量高于亚油酸含量。研究表明,油酸、亚油酸都是有益脂肪酸,对人体脂质代谢发挥重要作用,可降低超重人群的心血管疾病和血浆中的低密度脂蛋白胆固醇含量,油酸通过代谢生成亚油酸。油酸

因分子结构中不饱和的烯键数目少于亚油酸,因而对氧气、高温等环境因子更加稳定,不易酸败、变哈,故高油酸油料种子的耐储性好、制品的货架寿命长、油的高温稳定性强等^[4-6]。花生高油酸育种起步于20世纪80年代,从第一个高油酸材料发现开始就付诸于育种实践。1995年发放第一个高油酸花生品种,油酸含量达80%,截止目前花生高油酸育种历时15年,高油酸花生品种已育成20多个^[7-26]。本文对花生高油酸突变体、高油酸遗传机制、高油酸育种系谱进行综述,分析存在问题,以期为我国高油酸花生育种提供参考。

收稿日期:2010-02-03 修回日期:2010-11-16

基金项目:山东省良种工程(高产优质出口专用花生新品种培育);青岛市科技发展计划(10-3-4-14-2-jch)

作者简介:陈静,副研究员,在读博士,主要从事花生遗传育种研究。E-mail:mianbaohua2008@126.com

1 高油酸花生突变体

Norden^[27]于1987年发现了第一个高油酸花生突变体 F435,油酸含量达到80%。表1中列举了目前已发现和创制的高油酸突变体材料5份,除F435是田间自然变异外,其他4份均是通过诱变产生的。其中化学诱变产生2份,M2-225和

C458^[28],两者油酸含量达到80%、亚油酸含量5%; γ -射线辐照诱变产生2份,SPI098和GA-T2636M^[29]。SPI098是Yu利用 γ -射线辐照79266获得的高油酸突变体,也是我国第1个高油酸突变材料^[29],另外4份均为美国科研人员发现的。这些高油酸突变体为花生高油酸育种、遗传研究提供了重要的材料。

表1 高油酸花生突变体

Table 1 Mutant of high oleic peanut

品种 Variety	油酸含量(%) Oleic content	方法 Approach	来源 Source	文献 Reference
F435	>80%	自然突变 Natural mutant	F78-1339	[27]
M2-225(AT2-225)	约80%	DES 诱变 Diethyl sulfate mutagenesis	AT-108	[28][30]
C458(Flavorrunner458 or MF)	约80%	EMS 诱变 Ethyl methanesulfonate mutagenesis	Florunner	[28][30]
SPI098	-	γ 射线诱变 Gamma radiation	79266	[29]
GA-T2636M	-	γ 射线诱变 Gamma radiation	Georia Runner	[30]

2 高油酸含量性状遗传研究

自从高油酸材料 F435 发现以后,有关高油酸含量性状的遗传研究引起了众多学者的广泛关注。Moore^[31]利用 F435 与一般油酸品种配组,分析后代油酸含量分离情况,表明 F435 与一般油酸品种 F78114 后代分离比例为 15:1,而与 F519-9 的后代分离比例为 3:1,且不存在正反交差异。扩大与 F435 杂交的品种个数,后代油酸含量分离比例为 15:1 和 3:1,其中与 12 个品种杂交后代表现单隐性基因遗传,与 1 个的杂交后代表现为双隐性基因遗传。表明两个隐性基因中的一个在花生种质中普遍存在,杂交后表现为预期的单基因遗传^[32-33]。禹山林^[34]以 F435 作高油酸亲本与 12 个美国大花生品种配制杂交组合,并以大花生为轮回亲本回交 3 次。结果表明,花生高油酸(80%左右)性状由两对隐性基因(*oll1oll2ol2*)控制。在美国大花生种质资源中,两对显、隐性基因杂合(*Oll1Oll2ol2*和*oll1oll2ol2*)的种质普遍存在,而隐性纯合形式的种质很少。研究表明,高油酸含量性状受双隐性基因 *oll* 和 *ol2* 控制,F435 与弗吉尼亚型大花生在 2 个座位上存在差异,与兰娜型花生相比只有 1 个座位存在差异^[31-34]。深入分析

表明,花生高油酸含量性状并非简单的双隐性基因控制。Lopez 等^[36]认为花生高油酸含量性状由 2 对主基因控制,且可能存在修饰基因作用。Isleib^[35]认为控制油酸/亚油酸比值的基因表现出部分显性的特点;*ol* 基因与背景基因型存在互作,可能存在上位性效应;*ol* 基因影响多种脂肪酸含量,呈一因多效。丁锦平等^[37]分析认为高油酸/亚油酸比值受 2 对加性-显性-上位性主基因控制,2 对主基因间的基因效应差异不大。对于高油酸含量性状由 2 对主基因控制得到了不同学者的认可,但由于不同研究者所用材料不同、分析方法、种植环境有差异,高油酸含量性状的遗传也变得复杂起来。

3 花生高油酸含量分子机理的研究

分子生物学研究表明,FAD2 很可能是造成高油酸突变的候选基因^[28-29,33,36,38],花生中存在 2 个 FAD2 同源基因 *ahFAD2A* 和 *ahFAD2B*,分别来自 A 基因组和 B 基因组^[38]。在一般油酸含量品种中这 2 个同源基因都表达,而在高油酸品种中,*ahFAD2B* 的表达显著下调,表明 *ahFAD2B* 转录物水平的降低与高油酸表型相关^[28-29]。通过对不同油酸含量花生品种 *ahFAD2B* 基因的核苷酸序列进行比

较发现,不同高油酸材料 *ahFAD2B* 的核酸序列有差异。高油酸品种 F435 的 *ahFAD2* 的核酸序列表现为从起始密码子起 442bp 处插入 A, 448bp 处发生碱基变化,此时并未把 *ahFAD2A* 和 *ahFAD2B* 区分开来;高油酸品种 MF 和 M2-225 的 *ahFAD2B* 的核酸序列表现为编码区插入了 205bp 微型反向重复转位元件 (MITE),但两者插入位置不同;高油酸品种 E16 的 *ahFAD2B* 的核酸序列表现为从起始密码子起 442bp 处插入 A^[28-29,39]。虽然这些高油酸材料 *ahFAD2B* 的核酸序列有差异,但结果均是造成移码,导致翻译的蛋白质序列提前终止,不能形成有功能的蛋白。Jung 通过 Northern 杂交证实 *ahFAD2A* 在高油酸株系 (M2-225 和 8-2122) 和一般油酸株系 (AT108 和 F78-1339) 品系都表达,分析证明 *ahFAD2A* 没有参与高油酸表型^[33]。Jung 等^[38] 在酵母中表达不同一般油酸花生品种的

克隆序列,检测 *ahFAD2A* 和 *ahFAD2B* 编码的蛋白的酶活性,发现只有 *ahFAD2B* 基因产物表现出有效的 *FAD2* 活性。此外,观察到 *ahFAD2A* 基因有一个点突变,使天冬氨酸 150 转变为天冬酰胺 (D150N)。天冬氨酸 150 残基在所有脂肪酸脱氢酶中是绝对保守的,这表明在研究者选择的几个供试正常的和高油酸品种中 *ahFAD2A-1* 可能是不能编码活性蛋白的 *ahFAD2A* 突变等位基因。后又发现在一般油酸花生品系 91-1718 中另一个 *ahFAD2A* 等位基因 (*ahFAD2A-2*) D150N 没有发生改变。这个花生品系对高油酸特性呈现双基因分离方式。总之,*ahFAD2A* 的突变和 *ahFAD2B* 转录物水平的大量下降共同造成了花生品种的高油酸表型,*ahFAD2A* 或 *ahFAD2B* 任一酶的活性对于一般的油酸表型都是足够的。

表 2 高油酸花生 *FAD2* 研究进展

Table 2 Results on *FAD2* gene of high oleic acid peanut

高油酸品种 Variety with high oleic acid	一般油酸品种 Variety with normal oleic acid	结果 Results	文献 Reference
F435	T-90	高油酸材料的 <i>ahFAD2</i> 从起始密码子起 442bp 处插入 A, 448bp 处碱基发生改变	[36]
M2-225, 8-2122	AT108, F78-1339	<i>ahFAD2A</i> 在高油酸和正常油酸株系都表达;在高油酸品种中, <i>ahFAD2B</i> 的表达极大降低	[33]
M2-225, 8-2122	91-1718	<i>ahFAD2A</i> 在 150 处天冬氨酸变为天冬酰胺;正常油酸品种 91-1718 的 <i>ahFAD2A</i> 在 150 处天冬氨酸无变化;91-1718 与高油酸株系表现为双基因分离;	[38]
MF M2-225	AT108	高油酸材料 <i>ahFAD2B</i> 的编码区插入了微型反向重复转位元件 (MITE),造成移码,导致翻译的蛋白质序列提前终止,不能形成有功能的蛋白	[28]
E16	LUHUA12	高油酸材料 <i>ahFAD2B</i> 从起始密码子起 442bp 处插入 A	[29]

4 高油酸花生品种系谱分析

4.1 育成发放的高油酸花生品种

自美国佛罗里达大学农业试验站 1995 年发放第一个高油酸花生品种 Sunoleic 95R 以来,已有 20 多个高油酸花生品种获准发放 (表 2),大多数是美国育种单位或公司育成发放的。我国育成发放的高油酸花生品种有 2 个,分别是花育 32 号和开农 H03-3。从时间看,2000 年以前发放的高油酸品种较少,2000-2005 年间发放的高油酸品种最多达 11 个,2006 年至今高油酸花生品种释放量有

所下降。与美国相比,我国高油酸花生育种起步较晚,育成的高油酸花生品种花育 32 号于 2009 年通过山东省农作物品种审定委员会审定,开农 H03-3 于 2006 年通过安徽省品种鉴定。从品种类型看,兰娜型花生品种最多为 11 个,西班牙型和弗吉尼亚型花生品种均为 3 个,花育 32 号和开农 H03-3 属中间型,果型上表现为普通形和茧形。这些高油酸花生品种油酸含量是有差异的,多数油酸含量都达到 80%,花育 32 号油酸含量最低为 77.8%,油酸亚油酸比值为 12.6:1。

表 3 国内外育成的高油酸花生品种汇总表

Table 3 List of peanut varieties with high oleic acid released by domestic and foreign breeder

品种名称 Name	类型 Type	油酸含量或油酸/亚油酸 Oleic content or O/L	发放时间 released time	品种权号或审定号 PVP No.	育成单位 Applicant	文献 Reference
SunOleic 95R	Runner	80	1995	9400148	Florida Agricultural Experiment Station, University of Florida	[9]
SunOleic 97R	Runner	80	1997	9700182	Florida Agricultural Experiment Station, University of Florida	[9]
Olin	Spanish	22.3:1	2002	200200149	Texas Agricultural Experiment Station	[13]
TamrunOL 01	Runner	13:1	2002	200200150	Texas Agricultural Experiment Station	[12]
Georgia-02C	Runner	32:1	2002	200300050	University of Georgia Research Foundation, Inc.	[17]
TamrunOL 02	Runner	24.1:1	2002	200300170	Texas Agricultural Experiment Station	[11]
Andru II	Runner	80	2002	200300179	Florida Agricultural Experiment Station	[19]
ANorden	Runner	80	2002	200300205	Florida Agricultural Experiment Station	[23]
Hull	Runner	80	2002	200300207	Florida Agricultural Experiment Station	[20]
GP-1	Runner	80	2002	200300321	Florida Agricultural Experiment Station	[21]
Georgia-04S	Spanish	34:1	2004	200500121	University of Georgia Research Foundation, Inc.	[18]
Georgia-05E	Virginia	35:1	2005	200600059	University of Georgia Research Foundation, Inc.	[16]
Brantley	Virginia	27.77:1	2005	200600071	North Carolina State University U. S. Government as represented by the Secretary of Agriculture	[22]
Florida-07	Runner	80	2006	200800069	Florida Agricultural Experiment Station	[15]
TamnutOL06	Spanish	20.8:1	2006	200800279	Texas AgriLife Research	[10]
Tamrun OL07	Runner	-	2006	200800280	Texas AgriLife Research	[24]
Georgia-08V	Virginia	83.79	2008	200900238	University of Georgia Research Foundation, Inc.	[14]
Georgia Hi-O/L	-	40:1	1999	200000255	University of Georgia Research Foundation, Inc.	[16]
AT225 High Oleic	-	-	*	9700010	Golden Peanut Company, LLC	[9]
GK-7 High Oleic	-	-	-	9800019	Golden Peanut Company, LLC	[9]
AgraTech 201	-	-	-	200000135	Golden Peanut Company, LLC	[9]
York	-	-	*	200800186	Florida Agricultural Experiment Station	[9]
花育 32 号	普通形	77.8 (12.6:1)	2009	鲁农审 2009040 号	山东省花生研究所	[25]
开农 H03-3	茧形	81.6	2006	皖品鉴登字第 0605006	河南省开封市农林科学研究所	[26]

- : 未查到相关资料; * : 未发放

- : no related reference by found; * : unreleased

4.2 高油酸花生品种系谱分析

根据文献资料、美国 PVPO 提供的品种来源、《中国花生品种系谱》以及山东省种子管理总站公布的审定品种资料,绘制出 20 个高油酸花生品种系谱图(图 1)。由图 1 可以看出,育成的大多数高油

酸花生品种与早期发现的高油酸突变体 F435 有亲缘关系,占所绘制系谱品种的 70%,即 14 个品种,这 14 个品种中除 Brantley 为弗吉尼亚型大粒花生外,其他 13 个品种均为小粒花生,10 个为兰娜型,3 个为西班牙型。图 1-B 部分列出了 4 个高油酸花生

品种,它们的高油酸特性不是来源于 F435,而是利用诱变突变体,结合杂交育种培育而成。它们的品种特性有较大差异,Georgia-02C 属兰娜型、Georgia-08V 属弗吉尼亚型、花育 32 号属中间型、Georgia Hi-O/L 未知。图 1-C 部分列出了 2 个高油酸花生品

种,表现为弗吉尼亚型和中间型,其高油酸特性供体来源不祥。由此可见,高油酸花生育种所选用的高油酸供体还是有限的,其结果势必导致育成品种遗传多样性下降。

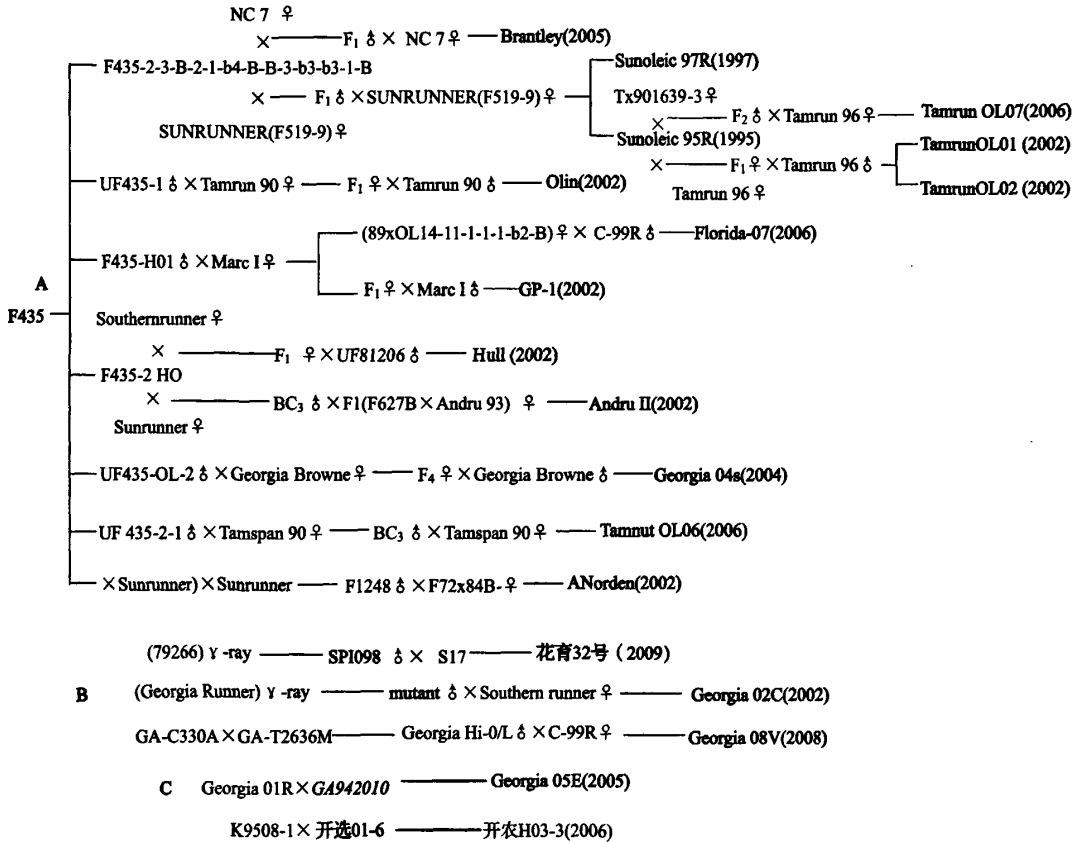


图 1 高油酸花生品种系谱图

Fig. 1 Pedigrees of peanut varieties containing high oleic acid

A: F435 衍生高油酸花生品种, B: 辐照突变衍生高油酸花生品种, C: 高油酸供体来源不详

A: Peanut varieties derived from F435,

B: Peanut varieties derived from mutant induced from γ -ray,

C: No reference display origination of varieties

4.3 高油酸花生品种改良途径分析

传统育种方式是高油酸花生育种的重要手段。由图 1 可知,高油酸花生品种是通过杂交育成,杂交方式多采用回交转育高油酸特性。5 个品种是通过杂交后系谱法选育而成(图 1-B、1-C),14 个品种通过简单回交、多次回交和复杂杂交育成(图 1-A)。诱变育种在高油酸花生品种培育的作用更侧重于创制高油酸突变材料,结合杂交育种间接培育高油酸花生品种。如花育 32 号是 S17 与 SPI098 杂交经系

谱选育而成,其高油酸特性来源于父本 SPI098, SPI098 是经钴⁶⁰ γ 射线辐照 79266 品系得到的高油酸突变体。Branch^[17] 利用 γ 射线辐照 Georgia Runner 品种获得了高油酸突变材料,结合杂交育种培育出高油酸花生品种 Georgia-02C,油酸亚油酸比值为 32.0。美国育成的高油酸花生品种中多数是通过回交或复合杂交育成,我国育成的 2 个高油酸品种均是通过杂交后系谱选育而成。

通过基因工程提高花生油酸含量的研究较多,

主要是通过农杆菌介导法、反义或 RNAi 干扰技术来提高油酸含量。徐霞^[40]采用农杆菌法,将反义 *FAD2* 基因导入花生,PCR 检测和 PCR-Southern 杂交检测证实反义 *FAD2* 基因已经整合入花生基因组。花生上开展了多项 RNAi 干扰研究,多数研究只是证实基因已导入基因组^[41-42],无后续研究。李桂民^[43]、黄冰艳等^[44]、殷冬梅等^[45-46]对转基因后代进行了脂肪酸的测定,结果表明,殷冬梅获得的 4 株转基因植株油酸含量与受体品种油酸含量相比显著增加,高达 70.01%。

5 展望与建议

(1)从花生高油酸遗传机制研究结果来看,花生高油酸特性由 2 个主效基因控制,分子生物学的研究进一步为该结论提供了证据,同时高油酸特性遗传还受到修饰基因控制。

(2)纵观高油酸花生育种,从第 1 个高油酸花生品种发放历时 15 年,育成品种 20 多个,系谱分析证实育成品种的高油酸特性来源狭窄,依赖于极少数高油酸花生突变体,使得育成品种的遗传多样性下降。因此,非常有必要重视种质创新工作,人工诱变就是不错的方式,如辐照诱变和化学诱变等。


(3)我国高油酸花生育种起步较晚,分析美国花生高油酸育种中存在的问题能够为我国快速有效培育高油酸花生品种提供参考。首先,我国缺乏高油酸花生材料。目前我国大面积推广的花生品种子仁中脂肪含量约 50% 左右,以油酸、亚油酸为主,两者比值多小于 2,即油酸含量低于 60%。我国保存的 6000 多份种质资源中油酸含量均未超过 70%,最大含量为 67.2%,属龙生型^[47]。可见,我国还是非常缺乏培育高油酸花生品种的遗传基础。我国大面积种植的花生品种,表现为直立疏枝特性,与美国的花生品种不同,美国高油酸材料难以直接应用于我国的高油酸花生育种,所以,应加强挖掘和创制适合于我国高油酸花生育种的材料。其次,育种方法有待改进。我国花生育成品种大部分是通过杂交后系谱法或改良系谱法选育而成,较少采用回交或多交。对于单个性状改良,回交更有效;结合已开发出与高油酸含量相关的分子标记,加大分子标记辅助育种的应用,提高育种效率,缩短育种年限。最后,结合我国国情制定合理育种目标。我国花生消费趋向不同于美国,我国以油用为主,美国以食用为主。美国花生高油酸育种侧重于低脂高油酸,如德克萨斯农业试验站利用 SunOleic 杂交育成高油酸品种

Tamrun OL 01、Tamrun OL 02,油脂含量分别为 41.7%、45.6%,油酸含量分别为 80.1%、80.2%^[48]。我国应以提高脂肪含量为重点,同时注重脂肪酸组分的改良。

参考文献

- [1] FAOSTAT Data Base [EB/OL]. [2010-02-01]. <http://apps.fao.org>
- [2] 历年全国农业统计提要 [EB/OL]. [2010-02-01]. <http://www.agri.gov.cn/sjzl/nongyety.htm>
- [3] 廖伯寿. 我国花生科研与产业发展现状及对策[J]. 中国农业信息, 2008(5):18-22
- [4] Davis J P, Dean L O, Faircloth W H, et al. Physical and chemical characterizations of normal and high-oleic oils from nine commercial cultivars of peanut [J]. J Amer Oil Chem Soci, 2008, 85: 235-243
- [5] Uematsu T, Parkanyiova L, Endo T, et al. Effect of the unsaturation degree on browning reactions of peanut oil and other edible oils with proteins under storage and frying conditions[J]. International Congress Series, 2002, 1245:445-446
- [6] 韩柱强, 高国庆, 周瑞阳, 等. 龙生型高油酸花生种质油酸、亚油酸含量及其比值的遗传分析[J]. 植物遗传资源学报, 2010, 11(1):17-22
- [7] 张振乾, 肖钢, 谭太龙, 等. 高油酸油菜研究进展及其前景展望[J]. 作物杂志, 2009(5):1-6
- [8] Clemente T E, Cahoon E B. Soybean oil: Genetic Approaches for Modification of Functionality and Total Content[J]. Plant physiology, 2009, 151:1030-1040
- [9] PVPO 认证数据库 [EB/OL]. [2010-02-01]. <http://www.ams.usda.gov>
- [10] Baring M R, Lopez Y, Simpson C E, et al. Registration of 'Tamrun OL06' Peanut [J]. Crop Sci, 2006, 46:2720-2721
- [11] Simpson C E, Baring M R, Schubert A M, et al. Registration of 'Tamrun OL 02' Peanut [J]. Crop Sci, 2006, 46:1813-1814
- [12] Simpson C E, Baring M R, Schubert A M, et al. Registration of 'Tamrun OL01' Peanut [J]. Crop Sci, 2003, 43:2298
- [13] Simpson C E, Baring M R, Schubert A M, et al. Registration of 'OLin' Peanut [J]. Crop Sci, 2003, 43:1880-1881
- [14] Branch W D. Registration of 'Georgia-08V' Peanut [J]. J Plant Reg, 2009, 3:143-145
- [15] Gorbet D W, Tillman B L. Registration of 'Florida-07' Peanut [J]. J Plant Reg, 2009, 3:14-18
- [16] Branch W D. Registration of 'Georgia-05E' Peanut [J]. Crop Sci, 2006, 46:2305
- [17] Branch W D. Registration of 'Georgia-02C' Peanut [J]. Crop Sci, 2003, 43:1883-1884
- [18] Branch W D. Registration of 'Georgia-04S' Peanut [J]. Crop Sci, 2005, 45:1653-1654
- [19] Gorbet D W. Registration of 'Andru II' Peanut [J]. Crop Sci, 2006, 46:2712-2713
- [20] Gorbet D W. Registration of 'Hull' Peanut [J]. J Plant Reg, 2007, 1:125-126
- [21] Gorbet D W. Registration of 'GP-1' Peanut [J]. J Plant Reg, 2007, 1:122
- [22] Isleib T C, Rice P W, Mozingo R W, et al. Registration of 'Brantley' peanut [J]. Crop Sci, 2006, 46:2309-2311
- [23] Gorbet D W. Registration of 'ANorden' peanut [J]. J Plant Reg, 2007, 1:123-124
- [24] Baring M R, Simpson C E, Burrow M D, et al. Registration of 'Tamrun OL07' peanut [J]. Crop Sci, 2006, 46:2721-2722
- [25] 山东省农作物品种审定委员会文件:鲁农审字[2009]1号 [EB/OL]. [2010-09-27]. <http://www.seedsd.com/>

- [26] 禹山林. 中国花生品种及其系谱[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2008
- [27] Norden A J, Gorbet D W, Knauff D A. Variability in oil quality among peanut genotypes in the florida breeding program [J]. *Peanut Sci*, 1987, 14: 7-11
- [28] Patel M, Jung S, Moore K, et al. High-oleate peanut mutants result from a MITE insertion into the FAD2 gene[J]. *Theor Appl Genet*, 2004, 108: 1492-1502
- [29] Yu S L, Pan L J, Yang Q L, et al. Comparison of the Δ^{12} fatty acid desaturase gene between high-oleic and normal-oleic peanut genotypes[J]. *J Genet Genomics*, 2008, 35: 679-685
- [30] Chu Y, Holbrook C C, and Ozias-Akins P. Two Alleles of *ahFAD2B* Control the High Oleic Acid Trait in Cultivated Peanut [J]. *Crop Sci*, 2009, 49: 2029-2036
- [31] Moore K M, Knauff D A. The inheritance of high oleic acid in peanut [J]. *J Hered*, 1989, 80: 252-253
- [32] Knauff D A, Moore K M, Gorbet D W. Further studies on the inheritance of fatty acid composition in peanut [J]. *Peanut Sci*, 1993, 20: 74-76
- [33] Jung S, Swift D, Sengoku E, et al. The high oleate trait in the cultivated peanut [*Arachis hypogaea* L.] I: Isolation and characterization of two genes encoding microsomal oleoyl-PC desaturases[J]. *Mol Gen Genet*, 2000, 263: 796-805
- [34] 禹山林, Isleib T G. 美国大花生脂肪酸的遗传分析[J]. *中国油料作物学报*, 2000, 22(1): 34-37
- [35] Isleib T G, Wilson R F, Novitzky W P. Partial dominance, pleiotropism and epistasis in the inheritance of the high-oleate trait in peanut [J]. *Crop Sci*, 2006, 46(3): 1331-1335
- [36] Lopez Y, Nadaf H L, Smith O D. Genetic factors influencing high oleic acid content in spanish market-type peanut cultivars [J]. *Crop Sci*, 2000, 41: 51-56
- [37] 丁锦平, 韩柱强, 周瑞阳, 等. 花生油酸亚油酸比值的遗传分析[J]. *中国油料作物学报*, 2007, 29(3): 233-237
- [38] Jung S, Powell G, Moore K, et al. The high oleate trait in the cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.) II: molecular basis and genetics of the trait [J]. *Mol Gen Genet*, 2000, 263: 806-811
- [39] López Y, Nadaf H L, Smith O D, et al. Isolation and characterization of the Δ^{12} -fatty acid desaturase in peanut (*Arachis hypogaea* L.) and search for polymorphisms for the high oleate trait in Spanish market-type lines [J]. *Theor Appl Genet*, 2000, 101: 1131-1138
- [40] 徐霞. 高油酸花生基因工程育种的研究[D]. 济南: 山东大学, 2006
- [41] 张小茜, 单雷, 唐桂英, 等. 农杆菌介导的花生 Δ^{12} 脂肪酸脱氢酶基因 *AhFAD2 RNAi* 抑制表达遗传转化研究[J]. *中国油料作物学报*, 2007, 29(4): 409-415
- [42] 冯凯. hpRNA 在花生脂肪酸组分改良中的应用[D]. 长春: 东北师范大学, 2006
- [43] 李桂民. 双链 RNA 基因沉默在高油酸花生育种中的应用[D]. 长春: 东北师范大学, 2005
- [44] 黄冰艳, 张新友, 苗利娟, 等. 花生 *FAD2* 基因 *RNAi* 载体转化及转基因籽粒脂肪酸分析[J]. *中国油料作物学报*, 2008, 30(3): 289-293
- [45] 殷冬梅, 杨海棠, 台国琴, 等. 花生油酸脱氢酶基因遗传转化体系的建立与表达分析[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(5): 1827-1832
- [46] Yin D M, Deng S Z, Zhan K H, et al. High-oleic peanut oils produced by hpRNA-mediated gene silencing of oleate desaturase [J]. *Plant Mol Bio Rep*, 2007, 25: 154-163
- [47] 姜慧芳, 任小平. 我国栽培花生资源农艺和品质性状的遗传多样性[J]. *中国油料作物学报*, 2006, 28(4): 421-426
- [48] Ramakanth S, Jonnala A, Nurhan T, et al. New high-oleic peanut cultivars grown in the southwestern United States [J]. *J Amer Oil Chem Soci*, 2005, 82(2): 125-128

作者: 陈静, CHEN Jing
作者单位: 山东省花生研究所, 青岛, 266100
刊名: 植物遗传资源学报 
英文刊名: JOURNAL OF PLANT GENETIC RESOURCES
年, 卷(期): 2011, 12(2)

参考文献(48条)

1. Ramakanth S;Jonnala A;Nurhan T New high-oleic peanut cultivars grown in the southwestern United States[外文期刊] 2005(02)
2. 姜慧芳;任小平 我国栽培种花生资源农艺和品质性状的遗传多样性[期刊论文]-中国油料作物学报 2006(04)
3. Yin D M;Deng S Z;Zhan K H High-oleic peanut oils produced by hpRNA-mediated gene silencing of oleate desaturase[外文期刊] 2007
4. 殷冬梅;杨海粟;台国琴 花生油酸脱氢酶基因遗传转化体系的建立与表达分析[期刊论文]-中国农业科学 2009(05)
5. 黄冰艳;张新友;苗利娟 花生FAD2基因RNAi载体转化及转基因籽粒脂肪酸分析[期刊论文]-中国油料作物学报 2008(03)
6. Jung S;Swift D;Sengoku E The high oleate trait in the cultivated peanut[Arachis hypogaea L.] I:Isolation and characterization of two genes encoding microsomal oleoyl-PC desaturases 2000
7. Knauff D A;Moore K M;Gorbet D W Further studies on the inheritance of fatty acid composition in peanut[外文期刊] 1993
8. Moore K M;Knauff D A The inheritance of high oleic acid in peanut 1989
9. Chu Y;Holbrook C C;Ozias-Akins P Two Alleles of ahFAD2B Control the High Oleic Acid Trait in Cultivated Peanut[外文期刊] 2009
10. Y u S L;Pan L J;Yang Q L Comparison of the $\Delta 12$ fatty acid desaturase gene between high-oleic and normal-oleic peanut genotypes 2008
11. Patel M;Jung S;Moore K High-oleate peanut mutants result from a MITE insertion into the FAD2 gene [外文期刊] 2004(8)
12. Isleib T G;Rice P W;M ozingo R W Registration of 'Brantley' peanut 2006
13. Branch W D Registration of ' Georgia-05E' Peanut[外文期刊] 2006(5)
14. Gorbet D W;Tillman B L Registration of 'Florida-07' Peanut[外文期刊] 2009(1)
15. Branch W D Registration of ' Georgia-08V' Peanut[外文期刊] 2009(2)
16. Simpson C E;Baring M R;Schubert A M Registration of ' OLin' Peanut 2003
17. 李桂民 双链RNA基因沉默在高油酸花生育种中的应用 2005
18. 张小茜;单雷;唐桂英 农杆菌介导的花生 $\Delta 12$ 脂肪酸脱氢酶基因AhFAD2 RNAi抑制表达遗传转化研究 2007(04)
19. López Y;Nadaf H L;Smith O D Isolation and characterization of the $\Delta 12$ -fatty acid desaturase in peanut (Arachis hypogaea L.) and search for polymorphisms for the high oleate trait in Spanish market-type lines 2000
20. Jung S;Powell G;Moore K The high oleate trait in the cultivated peanut(Arachis hypogaea L.) II:molecular basis and genetics of the trait 2000

21. [丁锦平;韩柱强;周瑞阳 花生油酸亚油酸比值的遗传分析\[期刊论文\]-中国油料作物学报 2007\(03\)](#)
22. [Lopez Y;Nadaf H L;Smith O D Genetic factors influencing high oleic acid content in spanish market-type peanut cultivars 2000](#)
23. [Isleib T G;Wilson R F;Novitzky W P Partial dominance,pleiotropism and epistasis in the inheritance of the high-oleate trait in peanut\[外文期刊\] 2006\(03\)](#)
24. [禹山林;Isleib T G 美国大花生脂肪酸的遗传分析\[期刊论文\]-中国油料作物学报 2000\(01\)](#)
25. [Simpson C E;Baring M R;Schubert A M Registration of ' Tamrun OL01 ' Peanut\[外文期刊\] 2003](#)
26. [Simpson C E;Baring M R;Schubert A M Registration of ' Tamrun OL 02' Peanut\[外文期刊\] 2006\(4\)](#)
27. [Gorbet D W Registration of ' GP-1' Peanut\[外文期刊\] 2007](#)
28. [Gorbet D W Registration of 'Hull' Peanut 2007](#)
29. [Gorbet D W Registration of ' Andru II' Peanut 2006](#)
30. [Branch W D Registration of ' Georgia-04S' Peanut\[外文期刊\] 2005](#)
31. [Branch W D Registration of ' Georgia-02C' Peanut\[外文期刊\] 2003](#)
32. [Norden A J;Gorbet D W;Knauft D A Variability in oil quality among peanut genotypes in the florida breeding program 1987](#)
33. [山东省农作物品种审定委员会文件:鲁农审字\[2009\]1号 2010](#)
34. [Baring M R;Simpson C E;Burow M D Registration of ' Tamrun OL07' peanut 2006](#)
35. [Gorbet D W Registration of ' ANorden' peanut 2007](#)
36. [Baring M R;Lopez Y;Simpson C E Registration of ' Tamnut OL06' Peanut 2006](#)
37. [PVPO认证数据库 2010](#)
38. [Clemente T E;Cahoon E B Soybean oil:Genetic Approaches for Modification of Functionality and Total Content\[外文期刊\] 2009\(3\)](#)
39. [张振乾;肖钢;谭太龙 高油酸油菜研究进展及其前景展望\[期刊论文\]-作物杂志 2009\(05\)](#)
40. [韩柱强;高国庆;周瑞阳 龙生型高油酸花生种质油酸、亚油酸含量及其比值的遗传分析\[期刊论文\]-植物遗传资源学报 2010\(01\)](#)
41. [Uematsu T;Parkanyiova L;Endo T Effect of the unsaturation degree on browning reactions of peanut oil and other edible oils with proteins under storage and frying conditions\[外文期刊\] 2002](#)
42. [Davis J P;Dean L O;Faircloth W H Physical and chemical characterizations of normal and high-oleic oils from nine commercial cultivars of peanut\[外文期刊\] 2008\(3\)](#)
43. [廖伯寿 我国花生科研与产业发展现状及对策\[期刊论文\]-中国农业信息 2008\(05\)](#)
44. [历年全国农业统计提要 2010](#)
45. [FAOSTAT Data Base 2010](#)
46. [冯凯 hpRNA在花生脂肪酸组分改良中的应用 2006](#)
47. [禹山林 中国花生品种及其系谱 2008](#)
48. [徐霞 高油酸花生基因工程育种的研究 2006](#)