

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2009.00025

## 野生花生脂肪酸组成的遗传变异及远缘杂交创造高油酸低棕榈酸花生新种质

姜慧芳 任小平 黄家权 雷 永 廖伯寿

中国农业科学院油料作物研究所, 湖北武汉 430062

**摘 要:** 以花生属 19 个近缘野生物种 87 份种质和 113 份栽培远缘杂交后代为材料, 系统分析野生花生脂肪酸组成的遗传变异及其在栽培种花生脂肪酸改良中的潜力。结果表明, 野生花生的棕榈酸含量与栽培种花生相似, 硬脂酸和油酸含量略低于栽培种花生, 亚油酸含量略高于栽培种。不同物种间以及同一物种内不同资源间的脂肪酸组成存在较大差异。*A. rigonii* 棕榈酸含量较低, *A. pusilla* 和 *A. duranensis* 油酸含量较高, *A. batizocoi* 亚油酸含量较高, *A. rigonii* 和 *A. duranensis* 油酸和亚油酸含量变幅较大。发掘出油酸含量达 60% 以上的野生资源 2 份(19-6, *A. duranensis* 和 23-1, *A. sp.*), 亚油酸含量达 40% 以上的资源 7 份, 其中 *A. rigonii*(编号为 11-4)亚油酸含量高达 48%, 是目前所发现的花生资源中亚油酸含量最高的种质。远缘杂交后代脂肪酸的变异远远超过亲本间的差异, 而且不同组合间的棕榈酸、硬脂酸、油酸和亚油酸含量差异达显著或极显著水平。通过远缘杂交获得了 6 份油酸含量达 64.0% 以上且棕榈酸含量在 8.5% 以下的新种质, 其中 yz8913-8 油酸含量达 67.85%, 比其栽培种亲本提高近 30 个百分点, 且棕榈酸含量仅 7.60%。SRAP 检测表明, 这 6 份远缘杂交后代除整合了亲本的 DNA 片段外, 还产生了新的 DNA 片段, 有的还丢掉了亲本的某些片段。农艺性状分析表明, 其中 4 份种质的综合农艺性状较好, 具有重要育种利用价值。

**关键词:** 野生花生; 脂肪酸; 遗传变异; 远缘杂交; 种质创新

## Genetic Variation of Fatty Acid Components in *Arachis* Species and Development of Interspecific Hybrids with High Oleic and Low Palmitic Acids

JIANG Hui-Fang, REN Xiao-Ping, HUANG Jia-Quan, LEI Yong, and LIAO Bo-Shou

Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China

**Abstract:** Wild *Arachis* species are important resource for genetic improvement of the cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.). Fatty acid composition is highly crucial for peanut quality in terms of nutritional value and shelf life duration, thus increasing oleate and decreasing the saturated fatty acids such as palmitic and stearic acids has been important breeding objectives worldwide. In the present study, fatty acids of 87 wild *Arachis* accessions and 113 interspecific hybrid derivatives were tested. Considerable variation in fatty acid components was observed among the *Arachis* species involved. Among the saturated fatty acids, lowest content of palmitic acid was identified in *A. rigonii*. Among the unsaturated fatty acids, the highest oleic acid contents were found in *A. pusilla* and *A. duranensis* and the highest linoleic acid was in *A. batizocoi*. Two genotypes (*A. duranensis* with documented number as 19-6 and *A. sp.* with documented number as 23-1) with oleic acid content more than 60.0% were identified. Compared to the cultivated peanut, stearic and oleic acid contents were slightly lower and linoleic acid content was slightly higher in the wild species while palmitic acid content was similar to that in *A. hypogaea*. The interspecific hybrid derivatives had wider ranges of most fatty acids than their parents. The variation of contents of palmitic, stearic, oleic and linoleic acids among the hybrid derivatives was statistically significant. Six derivatives with oleic acid content over 64.0% and palmitic acid content less than 8.5% were identified, among which yz8913-8 had a high oleic acid content as 67.85% (30.0% higher than its parents) and a low palmitic acid as 7.60%. Based on sequence-related amplified polymorphism (SRAP) analysis, new bands were observed in all these 6 derivatives.

**Keywords:** *Arachis* species; Fatty acids; Genetic diversity; Wide crosses; Genetic enhancement

本研究由国家自然科学基金项目(30571132), 国家科技支撑计划项目(2006BAD13B05-2), 国家科技基础条件平台项目(2005DKA21002-13), 农作物种质资源保护项目(NB05-070401-32)资助。

第一作者联系方式: E-mail: peanutlab@oilcrops.cn; Tel: 027-86711550

Received(收稿日期): 2008-05-14; Accepted(接受日期): 2008-07-17.

我国是世界上最大的花生生产、消费和出口国。花生主要用于生产食用油(全国近 60%用于榨油),花生油年产量和消费量 240 万吨左右(居世界首位)<sup>[1-2]</sup>。影响花生油脂营养和商品品质的重要成分是脂肪酸。品种资源分析结果表明<sup>[3-6]</sup>,花生脂肪酸中含量最多的是油酸,平均约占 48%,其次是亚油酸,约占 32%,第三是棕榈酸,约占 11%。油酸和亚油酸是不饱和脂肪酸,其中油酸为单不饱和脂肪酸,亚油酸为多不饱和脂肪酸,也是人体必需脂肪酸。油酸含量相对较高而亚油酸含量相对较低,有利于花生及制品的储藏和提高货架寿命<sup>[7-10]</sup>。棕榈酸则是饱和脂肪酸,其含量过高对人体健康不利<sup>[11-12]</sup>。美国已获得高油酸突变体(油酸含量接近 80%)并且获得专利保护,而且对其进行了较多研究<sup>[13-22]</sup>。我国生产上应用的花生品种油酸含量普遍较低(一般不到 50%)而棕榈酸相对较高(11%以上),因此,提高花生油酸含量降低棕榈酸含量是花生品质改良的重点,也是国内外

研究的热点之一。本课题组对栽培种花生资源的脂肪酸分析表明<sup>[3-5]</sup>,棕榈酸含量变异范围 7.47%~13.77%,油酸变异范围 37.56%~67.16%,亚油酸变异范围 15.94%~42.59%。但是,在栽培种花生中,油酸含量大于 60.0%的均为普通匍匐型花生和龙生型花生,其结果分散,生育期长,在育种中利用效果不理想。野生花生是栽培种花生遗传改良的重要资源,有关其脂肪酸组成的系统分析及其在改良栽培种花生中的应用效果,国内外未见研究报道。本研究对我国保存的野生花生资源及野生花生与栽培种花生远缘杂交后代的脂肪酸组成进行系统测定分析,旨在为野生花生的有效利用及栽培种花生的脂肪酸遗传改良提供理论和物质基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 野生花生材料

19 个物种的 87 份资源见表 1。

表 1 本研究所用野生花生材料  
Table 1 Wild *Arachis* accessions used in the present study

物种 Species	资源份数 Number of accessions	物种 Species	资源份数 Number of accessions	物种 Species	资源份数 Number of accessions
<i>A. appressipila</i>	7	<i>A. duranensis</i>	11	<i>A. paraguayensis</i>	4
<i>A. batizocoi</i>	4	<i>A. glandulifera</i>	2	<i>A. pusilla</i>	3
<i>A. benesis</i>	2	<i>A. helode</i>	1	<i>A. rigonii</i>	4
<i>A. cardenasii</i>	5	<i>A. hoehnei</i>	2	<i>A. stenosperma</i>	4
<i>A. chacoense</i>	2	<i>A. kuhlmannii</i>	1	<i>A. villosa</i>	5
<i>A. correntina</i>	3	<i>A. macedoi</i>	3	<i>A. sp.</i>	12
<i>A. cryptotamica</i>	1	<i>A. monticola</i>	7	合计 Total	87
<i>A. dardeni</i>	1	<i>A. oteroi</i>	3		

### 1.2 远缘杂交后代材料

1989 年以栽培种花生为母本,野生花生为父本配制 3 个杂交组合涟水大洋×*A. stenosperma*,旅大四粒红×*A. stenosperma*和中花 1 号×(中花 1 号+*A. glabrata*),并应用激素(GA、GA+Kn)处理提高杂交成功率,经 15 代繁殖后获得育性正常、性状稳定的 113 份后代材料。

### 1.3 脂肪酸分析

2006—2007 年连续 2 年选取成熟饱满无发芽、无破损、无病斑的新鲜干花生种子,由农业部油料及制品监督检验测试中心按 GB/T17377-1998 进行。

### 1.4 SRAP 分析

用 SDS 方法提取幼叶 DNA,通过 1%琼脂糖凝胶电泳和紫外分光光度计检测 DNA 纯度和浓度,全部 DNA 浓度均调至 10 ng  $\mu\text{L}^{-1}$ 。SRAP 反应体系为模板 10 ng  $\text{L}^{-1}$  DNA 3  $\mu\text{L}$ , 10×PCR buffer 1  $\mu\text{L}$ , 25

mmol  $\text{L}^{-1}$   $\text{MgCl}_2$  0.6  $\mu\text{L}$ , 10 mmol  $\text{L}^{-1}$  dNTPs 0.4  $\mu\text{L}$ , 15 ng  $\mu\text{L}^{-1}$  正向引物 1  $\mu\text{L}$ , 15 ng  $\mu\text{L}^{-1}$  反向引物 1  $\mu\text{L}$ , 5 U  $\mu\text{L}^{-1}$  Taq DNA 聚合酶 0.1  $\mu\text{L}$ , 10 mg  $\text{mL}^{-1}$  BSA 0.6  $\mu\text{L}$ , 反应总体积为 10  $\mu\text{L}$  (ddH<sub>2</sub>O 补齐)。反应混合物在 PCR 仪上进行扩增,反应程序为 94℃ 5 min; 94℃ 1 min, 35℃ 1 min, 72℃ 2 min, 5 个循环; 94℃ 1 min, 50℃ 1 min, 72℃ 2 min, 35 个循环; 最后 72℃ 延伸 5 min。扩增产物用 6% 的聚丙烯酰胺凝胶分离,银染显色。

### 1.5 农艺性状调查

于 2005—2007 年连续 3 年,按照“花生种质资源描述规范和数据标准”,在中国农业科学院油料作物研究所试验农场调查远缘杂交后代的农艺性状,种植密度为行距 33 cm,株距 13 cm,小区面积为 3 m<sup>2</sup>,全随机区组设计,3 次重复。常规的田间管理,没有覆膜。

2 结果与分析

2.1 野生花生的脂肪酸组成及变异

对 87 份材料脂肪酸含量分析, 棕榈酸为 8.1%~13.0%, 平均 10.72%, 硬脂酸 1.2%~4.8%, 平均 2.95%, 油酸 32.9%~60.9%, 平均 47.07%, 亚油酸 19.1%~48.0%, 平均 32.69%, 花生酸 0.8%~2.0%, 平均 1.63%,

花生烯酸 0.8%~2.2%, 平均 1.15%, 山嵛酸 1.5%~4.5%, 平均 2.52%。与栽培种花生资源的棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、花生酸、花生烯酸和山嵛酸含量的平均值(10.73%、3.21%、47.96%、31.82%、1.79%、1.15%和 2.51%)<sup>[5]</sup>相比, 野生花生的棕榈酸、花生烯酸和山嵛酸含量相似, 硬脂酸和油酸稍低, 而亚油酸含量稍高(表 2)。

表 2 花生属不同物种的脂肪酸组成  
Table 2 Fatty acid components in some *Arachis* species (%)

物种 Species	特征值 Feature value	棕榈酸 Palmitic	硬脂酸 Stearic	油酸 Oleic	亚油酸 Linoleic	花生酸 Arachidic	花生烯酸 Eicosenoic	山嵛酸 Behenic
<i>A. appressipila</i>	Mean	10.74	3.17	48.09	30.94	1.56	1.10	2.93
	Range	9.1–11.4	2.1–3.8	37.7–54.0	26.8–39.6	1.1–1.8	0.9–1.7	1.8–4.5
<i>A. batizocoi</i>	Mean	10.80	2.12	41.59	38.73	1.20	1.36	2.92
	Range	10.4–11.4	1.5–2.6	34.6–45.4	35.9–43.4	0.9–1.5	1.0–2.0	1.8–4.0
<i>A. benesis</i>	Mean	10.75	3.95	48.85	29.15	1.90	0.95	3.10
	Range	10.4–11.1	3.6–4.3	46.5–51.2	26.7–31.6	1.8–2.0	0.9–1.0	3.0–3.2
<i>A. cardenasii</i>	Mean	9.60	2.22	47.57	34.32	1.25	1.21	2.69
	Range	8.1–10.6	1.7–2.7	41.9–58.9	24.7–41.0	1.1–1.5	1.1–1.3	1.9–3.0
<i>A. chacoense</i>	Mean	10.26	2.50	44.41	36.62	1.45	1.23	3.17
	Range	10.1–10.5	2.2–2.8	40.4–48.4	32.6–40.6	1.3–1.6	1.1–1.3	3.0–3.4
<i>A. correntina</i>	Mean	9.95	2.12	44.02	37.57	1.26	1.22	2.77
	Range	9.6–10.5	1.7–2.5	42.5–45.1	36.9–38.9	1.1–1.4	1.1–1.4	2.6–3.1
<i>A. cryptotamica</i>		8.70	3.40	55.70	26.10	1.60	1.00	2.20
<i>A. dardani</i>		10.00	1.80	52.50	29.90	1.00	1.40	2.20
<i>A. duranensis</i>	Mean	10.20	2.57	46.32	34.27	1.38	1.18	2.79
	Range	8.9–12.0	1.8–3.7	40.9–60.9	19.1–40.8	1.1–1.8	0.9–1.4	1.8–3.8
<i>A. glandulifera</i>	Mean	10.75	2.55	48.60	31.65	1.30	1.10	2.45
	Range	10.1–11.4	2.2–2.9	41.1–56.0	23.9–39.4	1.3–1.3	1.0–1.2	1.7–3.2
<i>A. helodes</i>		9.10	1.90	46.20	36.40	1.10	1.30	2.70
<i>A. hoehnei</i>	Mean	10.26	2.36	46.94	34.83	1.28	1.11	2.38
	Range	9.5–11.0	2.2–2.5	42.2–51.7	30.1–39.6	1.3–1.3	1.0–1.2	2.4–2.4
<i>A. kuhlmannii</i>		9.80	2.00	46.20	35.20	1.20	1.40	2.90
<i>A. macedoi</i>	Mean	10.59	3.04	46.61	33.78	1.50	0.97	2.50
	Range	9.9–11.7	2.6–3.8	43.4–49.1	31.1–37.7	1.4–1.6	0.8–1.1	2.2–2.8
<i>A. monticola</i>	Mean	11.17	2.86	48.66	30.51	1.41	1.14	2.81
	Range	9.7–13.0	2.2–4.8	38.9–56.3	23.0–36.0	1.0–1.9	0.8–1.6	1.8–5.1
<i>A. oteroi</i>	Mean	9.77	2.90	46.60	33.90	1.53	1.07	2.87
	Range	9.7–9.8	2.6–3.5	43.5–50.3	30.0–36.8	1.4–1.7	0.9–1.2	2.8–3.3
<i>A. paraguariensis</i>	Mean	9.89	2.25	48.72	32.43	1.34	1.33	3.01
	Range	9.0–10.7	1.5–2.9	40.9–53.9	27.4–40.8	1.0–1.6	1.1–1.6	2.8–3.2
<i>A. pusilla</i>	Mean	9.53	2.08	52.52	30.44	1.18	1.26	2.19
	Range	9.3–9.8	1.8–2.3	49.4–57.5	26.1–34.2	1.0–1.4	1.2–1.3	1.7–3.1
<i>A. stenophylla</i>		11.50	3.00	48.10	30.70	1.60	1.00	2.70
<i>A. rigonii</i>	Mean	8.85	2.03	48.93	33.30	1.15	1.53	2.58
	Range	8.6–9.1	1.2–2.5	32.9–59.0	23.5–48.0	0.8–1.4	1.3–2.2	2.1–3.5
<i>A. stenosperma</i>	Mean	9.70	2.07	46.70	35.20	1.17	1.23	2.50
	Range	9.3–10.2	1.8–2.4	44.3–48.6	32.5–37.9	1.1–1.2	1.2–1.3	2.2–2.8
<i>A. villosa</i>	Mean	11.38	3.36	43.24	34.28	1.84	1.02	3.81
	Range	10.8–11.8	2.3–3.7	40.8–45.5	30.9–36.9	1.3–2.0	0.9–1.1	2.5–4.4
<i>A. sp.</i>	Mean	10.09	3.00	50.64	29.82	1.49	1.11	2.63
	Range	9.3–11.8	1.7–4.3	34.7–60.0	19.7–43.0	1.1–2.0	0.8–1.9	1.5–4.3

从表 2 看出,不同花生种脂肪酸组成存在很大的遗传差异。从平均值看, *A. rigonii* 的棕榈酸含量最低(8.85%), *t*-测验表明,极显著低于 *A. pprissipila*、*A. batizocoi*、*A. benesis*、*A. chacoense*、*A. correntina*、*A. oteroi*、*A. stenophylla* 的对应含量。*A. villosa* 棕榈酸含量最高(11.38%),极显著高于 *A. correntina*、*A. cryptotamica*、*A. oteroi*、*A. paraguariensis*、*A. pusilla*、*A. stenosperma*、*A. villosa* 的对应含量。*A. benesis* 的硬脂酸含量最高,极显著高于 *A. cardenasii* 的对应值。*A. pusilla* 油酸含量最高(52.52%)显著高于 *A. batizocoi*、*A. correntina*、*A. villosa* 的对应含量,而 *A. batizocoi* 油酸含量最低(41.59%)。*A. benesis* 亚油酸含量最低(29.15%),而 *A. batizocoi* 亚油酸最高(38.73%)极显著高于 *A. monticola* 的对应含量,显著高于 *A. appressipila*、*A. cryptotamica*、*A. benesis*、*A. pusilla* 的对应含量。从变异范围看, *A. duranensis* 的棕榈酸、油酸和亚油酸含量变幅较大,分别为 8.9%~12.0%、40.9%~60.9%和 19.1%~40.8%。*A. monticola* 棕榈酸含量变幅也较大,为 9.7%~13.0%。*A. rigonii* 棕榈酸含量变幅较小(8.6%~9.1%),而且含量普遍较低。*A. rigonii* 油酸和亚油酸含量变幅也较大,分别为 32.9%~59.0%和 23.5%~48.0%。*A. duranensis* 的油酸含量普遍高于 *A. rigonii* 的油酸含量,而且其

亚油酸含量普遍低于 *A. rigonii* 的对应值。

87 份材料中,油酸含量达 60%以上的 2 份,分别为 *A. duranensis* (编号 19-6)和 *A. sp.*(编号 23-1),其油酸含量分别为 60.0%和 60.9%,他们的亚油酸含量分别为 19.1%和 19.7%,这也就是在 87 份材料中仅有的亚油酸含量在 20%以下的 2 份,亚油酸含量达 40%以上的 7 份,其中 *A. rigonii* (编号 11-4)的亚油酸含量高达 48.0%,是目前所发现的花生资源包括栽培种和近缘野生种中亚油酸含量最高的种质,其油酸含量为 32.9%。

## 2.2 远缘杂交后代的脂肪酸组成及变异

113 份育性正常、主要植物学性状和农艺性状稳定的杂交后代中,来自涟水大洋×*A. stenosperma* 后代的 31 份,来自旅大四粒红×*A. stenosperma* 的 33 份,来自中花 1 号×(中花 1 号+*A. glabrata*)后代的 49 份。脂肪酸分析结果表明,杂交后代的变异远远大于其亲本和野生花生的变异。棕榈酸含量变幅为 7.60%~13.20%,平均 10.40%;硬脂酸 2.13%~4.56%,平均 3.67%;油酸 37.24%~67.85%,平均 51.21%;亚油酸 14.50%~40.33%,平均 29.20%;花生酸 0.90%~3.75%,平均 1.86%;花生烯酸 0.34%~3.43%,平均 1.19%;山嵛酸 1.30%~3.43%,平均 2.46%(表 3)。

表 3 花生远缘杂交亲本及后代的脂肪酸组成  
Table 3 Fatty acid components in parents and their derivatives from wide crosses(%)

亲本及组合 Parents and crosses	棕榈酸 Palmitic	硬脂酸 Stearic	油酸 Oleic	亚油酸 Linoleic	花生酸 Arachidic	花生烯酸 Eicosenoic	山嵛酸 Behenic
涟水大洋 Lianshuidayang	10.17	2.77	51.26	30.20	2.47	1.63	1.51
旅大四粒红 Lüdasilihong	10.42	3.21	38.09	41.48	3.84	1.17	1.81
中花 1 号 Zhonghua 1	10.40	2.91	51.64	30.48	1.35	0.84	2.38
<i>A. stenosperma</i>	9.30	2.00	47.20	35.20	1.20	1.20	2.50
Mean	11.14	3.67	46.97	32.61	1.74	1.02	2.53
旅大四粒红× <i>A. stenosperma</i>	Min	7.60	2.76	37.24	1.18	0.34	1.52
Lüdasilihong × <i>A. stenosperma</i>	Max	13.20	4.55	67.85	40.33	2.44	3.26
Mean	10.46	4.10	50.12	29.86	1.99	1.17	2.31
涟水大洋× <i>A. stenosperma</i>	Min	8.15	3.01	44.35	1.50	0.45	1.30
Lianshuidayang × <i>A. stenosperma</i>	Max	11.68	4.51	64.01	35.17	3.14	2.72
Mean	9.86	3.39	54.12	26.93	1.86	1.32	2.53
中花 1 号×(中花 1 号+ <i>A. glabrata</i> )	Min	7.83	2.13	44.06	16.97	0.90	1.39
Zhonghua 1 × (Zhonghua 1 + <i>A. glabrata</i> )	Max	12.21	4.56	66.62	36.26	3.45	3.43
<i>t</i> -test for A and B	2.716**	4.650**	2.100*	1.982*	1.807	1.196	1.465
<i>t</i> -test for A and C	4.475**	2.495*	4.470**	3.893**	1.233	1.522	0.079
<i>t</i> -test for B and C	2.239*	7.294**	2.679**	2.296*	1.263	1.131	1.881

\* and \*\*: significant at 0.05 and 0.01.  $t_{0.05}=1.980$ ,  $t_{0.01}=2.617$ . A: Lüdasilihong × *A. stenosperma*, B: Lianshuidayang × *A. stenosperma*, C: Zhonghua 1 × (Zhonghua 1 + *A. glabrata*).

从平均值看, 不同组合间的棕榈酸、硬脂酸、油酸和亚油酸含量差异达显著或极显著水平, 但在花生酸、花生烯酸和山萘酸方面的差异不明显。从变异范围看, 3 个组合后代的油酸、亚油酸、棕榈酸和硬脂酸含量均超出亲本范围, 表明在所涉及的野生花生与栽培种花生之间存在组合特异性, 而且通过远缘杂交创造高油酸或低棕榈酸的新种质是可能的(图 1)。

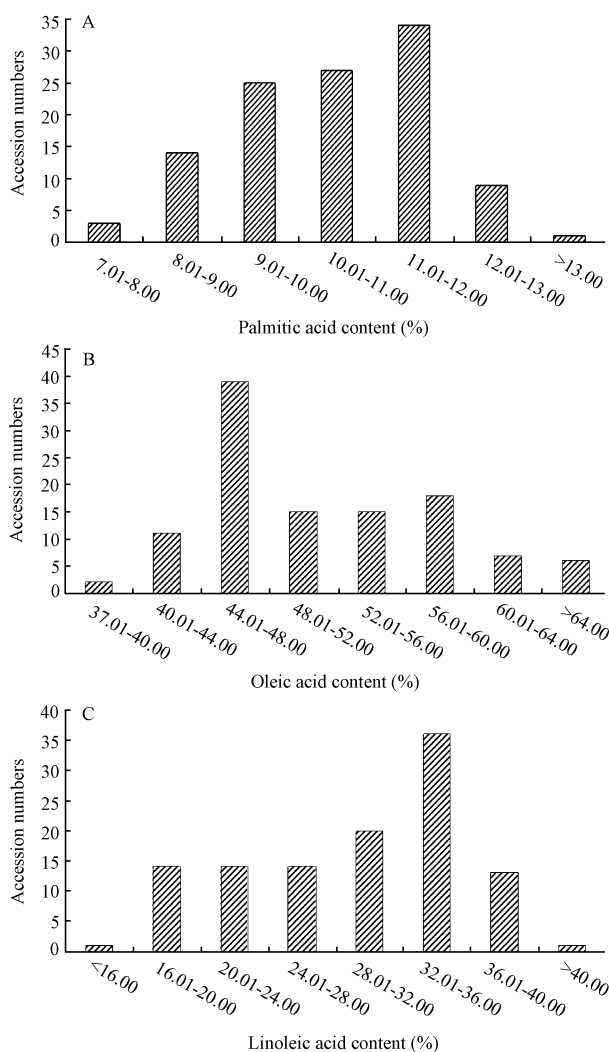


图 1 花生远缘杂交后代的棕榈酸、油酸和亚油酸含量分布  
Fig. 1 Distribution for palmitic, oleic, and linoleic acid contents in the derivatives from interspecific crosses

从图 1 看出, 远缘杂交后代的棕榈酸、油酸和亚油酸含量的变异范围均远远超过亲本含量范围, 而且均呈偏正态分布, 其中棕榈酸与亚油酸的分布趋势相似, 而且与油酸的分布趋势相反。可见, 花生的棕榈酸、油酸和亚油酸含量属数量性状遗传。图 1-A 有 3 份材料的棕榈酸含量较低(8.0% 以下); 图 1-B 有

6 份材料的油酸含量很高(64.0% 以上); 图 1-C 有 15 份材料的亚油酸含量在 20.0% 以下, 而且 1 份材料的亚油酸含量在 16.0% 以下。从这些结果看出, 在 113 份后代材料中包含有高油酸低棕榈酸的花生新种质, 而且出现了油酸含量比亲本高出近 30 个百分点的后代。

### 2.3 高油酸后代的脂肪酸组成

远缘杂交后代的测试结果表明, 远缘杂交创造了 6 份高油酸后代(表 4)。

从表 4 看出, 这些高油酸后代的棕榈酸含量普遍较低, 显著低于野生花生和栽培种花生资源的平均值(分别为 10.72% 和 10.73%), 也显著低于远缘杂交后代的平均值(10.40%)。它们的饱和脂肪酸含量(棕榈酸、硬脂酸、花生酸和山萘酸 4 者之和)也较低, 变异范围 14.90%~16.10%。yz8818-16 的油酸含量比其亲本高 12.75~16.81 个百分点, 棕榈酸含量比亲本低 1.15~2.02 个百分点。yz903-1-59、yz903-2-10、yz903-2-31 和 yz903-2-24 的油酸含量比其亲本高 12.31~14.48 个百分点, 棕榈酸含量比亲本低 1.94~2.57 个百分点。yz8913-8 的油酸含量比其亲本高 20.65~29.76 个百分点, 棕榈酸含量比亲本低 1.70~2.82 个百分点。

上述结果表明, 远缘杂交获得了高油酸低棕榈酸的优良花生新种质 6 份, 而且其油酸含量至少比亲本提高 12 个百分点以上, 有的甚至提高近 30 个百分点, 棕榈酸含量比亲本降低 2.82 个百分点。

### 2.4 野生花生遗传物质向栽培种花生转移的分子检测

用 88 对 SRAP 引物对亲本及远缘杂交后代中的 6 份高油酸种质的基因组 DNA 扩增, 其中 64 对引物的扩增效果较好, 能扩增出稳定清晰的多态性条带, 引物 M5E5 检测出 yz8818-16 具有野生花生和栽培种花生的 DNA 片段(图 2 箭头所指片段)。引物 M5E1 检测出 yz8913-8 具有野生花生和栽培种花生的 DNA 片段, 并且还有新的片段, 同时, 有些亲本中存在的片段, 在后代中不存在(图 3 箭头所指片段)。引物 M4E2 能检测出 yz903-1-59、yz903-2-40、yz903-2-31、yz903-2-24 整合有野生花生和栽培种花生的 DNA 片段, 并且还检测出合成新的片段及某些亲本中存在的片段而在后代中不存在的片段(图 4 箭头所指片段)。可见, 远缘杂交不仅仅是简单地将野生花生的遗传物质转移到了栽培种花生中, 而且通过遗传物质的重组和交流, 既产生了新的遗传物质, 也存在已有遗传物质的丢失。

表 4 高油酸后代的脂肪酸组成  
Table 4 Fatty acid components in derivatives with high oleate (%)

后代 Line	组合 Cross	棕榈酸 Palmitic	硬脂酸 Stearic	油酸 Oleic	亚油酸 Linoleic	花生酸 Arachidic	花生烯酸 Eicosenoic	山嵛酸 Behenic
yz8818-16	涟水大洋× <i>A. stenosperma</i> Lianshuidayang× <i>A. stenosperma</i>	8.15	3.01	64.01	19.12	1.58	1.42	2.72
yz903-1-59	中花 1 号×(中花 1 号+ <i>A. glabrata</i> ) Zhonghua 1×(Zhonghua 1+ <i>A. glabrata</i> )	8.32	2.99	64.05	19.20	1.46	1.53	2.45
yz903-2-40	中花 1 号×(中花 1 号+ <i>A. glabrata</i> ) Zhonghua 1×(Zhonghua 1+ <i>A. glabrata</i> )	8.24	2.83	64.06	19.61	1.39	1.31	2.57
yz903-2-31	中花 1 号×(中花 1 号+ <i>A. glabrata</i> ) Zhonghua 1×(Zhonghua 1+ <i>A. glabrata</i> )	8.44	2.88	64.66	19.70	1.08	0.74	2.50
yz903-2-24	中花 1 号×(中花 1 号+ <i>A. glabrata</i> ) Zhonghua 1×(Zhonghua 1+ <i>A. glabrata</i> )	7.83	2.83	66.62	16.97	1.54	1.46	2.76
yz8913-8	旅大四粒红× <i>A. stenosperma</i> Lüdasilihong× <i>A. stenosperma</i>	7.60	3.80	67.85	14.50	1.80	1.20	2.90

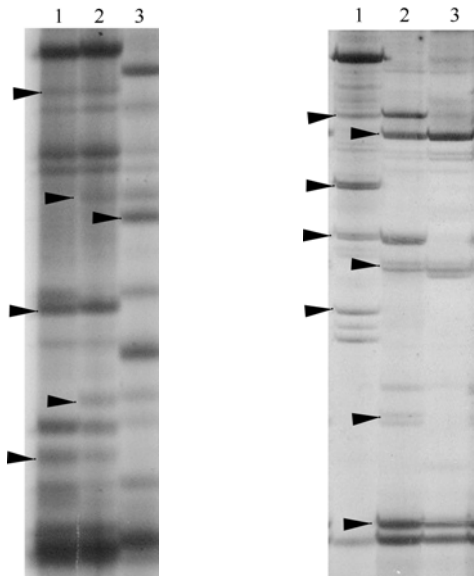


图 2 引物 M5E5 的扩增产物  
Fig. 2 PCR products with primer M5E5  
1: Lianshuidayang; 2: yz8818-16; 3: *A. stenosperma*.

图 3 引物 M5E1 的扩增产物  
Fig. 3 PCR products with primer M5E1  
1: *A. stenosperma*; 2: yz8913-8; 3: Lüdasilihong.

2.5 高油酸后代的主要农艺性状

从表 5 看出,在这些远缘杂交后代中,出现了综合性状较好的后代材料。有 4 份材料(yz8818-16、yz903-1-59、yz903-2-40 和 yz8913-8)的单株生产力较高,分别为 19.9、18.4、19.6 和 18.4 g,比远缘杂交后代的平均单株生产力高 27.6%、17.9%、24.4%和 17.9%;并且 yz8818-16 和 yz8913-8 荚果和种仁较大,百果重分别为 177.0 g 和 198.4 g,百仁重分别为 71.4 g 和 80.0 g,株高适中(43.5 cm 和 35.5 cm),增产潜力较大;另外, yz8913-8 的出仁率高(75.9%),利用价值较高。

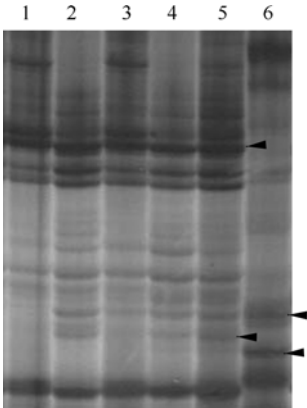


图 4 引物 M4E2 的扩增产物  
Fig. 4 PCR products with primer M4E2  
1: Zhonghua 1; 2: yz903-1-59; 3: yz903-2-40; 4: yz903-2-31; 5: yz903-2-24; 6: *A. glabrata*.

3 讨论

本研究首次以大量的野生花生为材料,系统分析其脂肪酸组成的遗传变异。从平均值看,野生花生资源的棕榈酸含量与栽培种花生资源相似,硬脂酸和油酸含量稍低于栽培种花生资源,而亚油酸含量稍高于栽培种花生资源。从变异范围看,在所涉及的 87 份野生花生资源中,棕榈酸、油酸和硬脂酸的变异范围稍低于栽培种花生资源(栽培种花生资源的这 3 种脂肪酸含量的变异分别为 7.47%~13.77%、37.56%~67.16%和 1.31%~6.00%),亚油酸的变异稍高于栽培种花生资源(15.94%~42.59%)。可以看出,野生花生中亚油酸含量高的资源较多,而栽培种花生中油酸含量高的资源较多。亚油酸是人体必需脂肪酸(人体不能合成,只能从食物中获取),有研究证实,当人体中的花生四烯酸不足时,可以通过亚油酸来合成<sup>[23]</sup>。本研究中发现出的亚油酸含量高达

表 5 高油酸后代的植物学性状和农艺性状  
Table 5 Agronomic traits of derivatives with high oleate

后代 Line	生育期 Growth period (d)	主茎高 Main stem height (cm)	总分枝数 Total branch numbers	百果重 100-pod weight (g)	百仁重 100-seed weight (%)	出仁率 Shelling percentage (%)	单株生产力 Pod yield per plant (g)
yz8818-16	128	43.5	7.9	177.0	71.4	72.1	19.9
yz903-1-59	130	31.3	8.7	139.5	54.5	73.2	18.4
yz903-2-40	130	47.5	10.3	139.4	54.4	73.9	19.6
yz903-2-31	127	53.2	9.9	130.0	54.3	73.4	10.5
yz903-2-24	127	48.5	9.5	135.1	53.0	73.4	13.9
yz8913-8	127	35.5	8.6	198.4	80.0	75.9	18.4

48%的资源为继续研究油酸和亚油酸的营养价值和保健功能奠定了基础。

多数研究认为,花生的油酸、亚油酸和棕榈酸等脂肪酸含量属数量性状<sup>[10,18,20-21]</sup>,与本研究中的远缘杂交后代的脂肪酸分布情形一致。远缘杂交后代的脂肪酸组成分析结果表明,这些脂肪酸含量的变异范围远远超过了亲本间的差异,而且出现了油酸含量比亲本提高近 30 个百分点并且棕榈酸含量比亲本降低近 3 个百分点的高油酸低棕榈酸的优良后代(yz8913-8),显示了野生花生对栽培种花生品质性状遗传改良的巨大潜力。根据野生花生的脂肪酸分析结果,本研究远缘杂交所用亲本并不是油酸含量很高的种质,如果用油酸含量达 60% 以上的种质作亲本,将有可能创造出更高油酸含量的新种质。该结果对花生高油酸种质创新具有重要意义。

SRAP 检测结果表明,花生的远缘杂交不仅仅是简单地将双亲的遗传物质组合到一起,在后代中产生有益的创新,也存在已有遗传物质的丢失。Mallikarjun<sup>[24]</sup>用 RAPD 技术检测了花生远缘杂交抗叶部病害后代的遗传物质整合情形,发现后代中既存在双亲遗传物质的重组,也存在新的遗传物质的产生和已有遗传物质的丢失,与本研究结果一致。新的遗传物质的产生和已有遗传物质的丢失是否对花生脂肪酸的积累过程或抗病性有影响,还有待进一步研究。

#### 4 结论

野生花生的脂肪酸组成变异类型丰富,通过远缘杂交能创造出比亲本油酸含量提高近 30 个百分点且棕榈酸含量降低 2.8 个百分点的高油酸低棕榈酸后代。

#### References

[1] Wang Y-B(王耀波), Zhang Y-B(张艺兵), Zhang P(张鹏), Men

A-J(门爱军). Perspectives and export promoting strategies in Chinese peanut industry after entering WTO. *J Peanut Sci* (花生学报), 2003, 32(suppl): 24–29(in Chinese)

- [2] Liao B-S(廖伯寿). Competitiveness analysis of oil industry in China. *J Peanut Sci* (花生学报), 2003, 32(suppl): 11–15(in Chinese)
- [3] Jiang H-F(姜慧芳), Duan N-X(段乃雄). The corrections of oil and oleic as well as linoleic acids in peanut seeds. *Peanut Sci Tech* (花生科技), 1993, (2): 4–5(in Chinese)
- [4] Liu G-M(刘桂梅), Liang Z-P(梁泽萍). Seed quality of peanut germplasm in China. *Oil crops China* (中国油料), 1993, 15(1): 18–21(in Chinese)
- [5] Jiang H-F(姜慧芳), Ren X-P(任小平), Huang J-Q(黄家权), Liao B-S(廖伯寿), Lei Y(雷永). Establishment of peanut mini core collection in China and finding of new resource with high oleat. *Chin J Oil Crops Sci* (中国油料作物学报), 2008, 30(3): 287–291(in Chinese with English abstract)
- [6] Isleib T G, C T Yong, Knauff D A. Fatty acid genotypes of five Virginia-type cultivars. *Crop Sci*, 1996, 36: 556–558
- [7] Mercer L C, Wynne J C, Young C T. Inheritance of fatty acid content in peanut oil. *Peanut Sci*, 1990, 17: 17–21
- [8] Norden A J, Gorbett D W, Knauff D A, Young C T. Variability in oil quality among peanut genotypes in Florida breeding program. *Peanut Sci*, 1987, 14: 7–11
- [9] Lei Y(雷永), Liao B-S(廖伯寿). Progress of peanut breeding for high oleate. Proceedings of the 5th National Peanut Workshop, Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2007(in Chinese)
- [10] Wan Y-S(万勇善), Tan Z(谭忠), Fan H(范晖), Li X-D(李向东), Zhang G-Y(张高英), Liu F-Z(刘凤珍), Wang S(王溯). Genetic effect of major fatty acid composition in groundnut. *Chin J Oil Crops Sci* (中国油料作物学报), 2002, 24(1): 26–28(in Chinese with an English abstract)
- [11] Tian Y-Q(田永全). Nutritional function of fatty acids. *Food Nutr China* (中国食物与营养), 2007, (8): 51–52(in Chinese)
- [12] Yao Y-Y(姚云游). Comparison of peanut oil and olive oil in nutritional value. *China Oil* (中国油脂), 2005, (4): 66–68(in Chinese with English abstract)
- [13] Jung S, Powell G, Moore K, Annot A. The high oleate trait in cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.): II. Molecular basis and

- genetics of the trait. *Mol Gen Genet*, 2000, 263: 806–811
- [14] Jung S, Swift D, Sengoku E, Patel M, Teule F, Powell G. The high oleate trait in the cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.): I. Isolation and characterization of two genes encoding microsomal oleoyl-PC desaturases. *Mol Gen Genet*, 2000, 263: 796–805
- [15] López Y, Nadaf H L, Smith O D, Connell J P, Reddy A S, Fritz A K. Isolation and characterization of the  $\Delta^{12}$ -fatty acid desaturase in peanut (*Arachis hypogaea* L.) and search for polymorphism for the high oleate trait in Spanish market-type lines. *Theor Appl Genet*, 2000, 101: 1131–1138
- [16] Lopez Y, Smith O D, Senseman S A, Rooney W L. Genetic factors influencing high oleic acid content in Spanish market-type peanut cultivars. *Crop Sci*, 2001, 41: 51–56
- [17] Lopez Y, Nadaf H L, Smith O D, Simpson C E, Fritz A K. Expressed variants of 12-fatty acid desaturase for the high oleate trait in Spanish market-type peanut lines. *Mol Breed*, 2002, 9: 183–190
- [18] Moore K M, Knauft D A. The inheritance of high oleic acid in peanut. *J Hered*, 1989, 80: 252–253
- [19] Yin D M, Deng S Z, Zhan K H, Cui D Q. High-oleic peanut oils produces by HpRNA-mediated gene silencing of oleate desaturase. *Plant Mol Biol Rep*, 2007, 25: 154–163
- [20] Ding J-P(丁锦平), Han Z-Q(韩柱强), Zhou R-Y(周瑞阳), Gao G-Q(高国庆), Yang Y-P(杨玉萍). Genetic analysis of oleic/linolei (O/L) ratio in peanut. *Chin J Oil Crops Sci* (中国油料作物学报), 2007, 29(3): 233–237(in Chinese with English abstract)
- [21] Yu S-L(禹山林), Isleid T G. The inheritance of high oleic acid content in peanut of virginia type in USA. *Chin J Oil Crops Sci* (中国油料作物学报), 2000, 22(1): 34–37(in Chinese with English abstract)
- [22] Patel M, Jung S, Moore K, Powell G, Ainsworth C, Abbott A. High-oleate peanut mutants result from a MITE insertion into the FAD2 gene. *Theor Appl Genet*, 2004, 108: 1492–1502
- [23] Li D(李铎). Fatty acid components and health. *Int Acad Dev* (国际学术动态), 2007, (5): 12–13(in Chinese)
- [24] Mallikarjuna N. Gene introgression from *Arachis glabrata* into *A. hypogaea*, *A. duranensis* and *A. diogeni*. *Euphytica*, 2002, 124: 99–105

## 《作物学报》文献计量学指标

(中国科技期刊引证报告-核心版)

年份	总被引频次	影响因子	即年指标	他引总引比
1999	817	0.463	0.069	0.880
2000	864	0.609	0.111	0.895
2001	1055	0.587	0.066	0.860
2002	1268	0.735	0.068	0.860
2003	1598	0.847	0.079	0.870
2004	1906	0.932	0.080	0.880
2005	2617	1.169	0.110	0.870
2006	3511	1.253	0.179	0.880
2007	4062	1.408	0.168	0.890