

赵 君, 刘剑光, 吴巧娟, 等. 棉花种质种仁含油量测定及其遗传多样性分析[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(5): 975-983.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.05.006

棉花种质种仁含油量测定及其遗传多样性分析

赵 君, 刘剑光, 吴巧娟, 赵 亮, 许剑文, 肖松华

(江苏省农业科学院经济作物研究所/农业部长江下游棉花油菜重点实验室, 江苏 南京 210014)

摘要: 棉花是重要的经济作物, 提高棉子的含油量具有重要的经济效益和社会意义。本研究以 24 份高油和低酚棉花品种(系)为材料, 测定种仁的含油量及脂肪酸组分。结果显示, 近期育成的棉花品种(系)种仁含油量显著低于高油材料的含油量, 脂肪酸组分在不同品种(系)间存在显著差异, 但与含油量之间没有显著的相关性。利用均匀分布于棉花 26 条染色体上的 370 对 SSR 标记对 32 个棉花品种(系)进行遗传多样性分析。共获得 190 个多态性位点, 检测到 609 个等位变异, 各位点检测到的等位变异数变幅为 2~9 个, 平均为 3.09 个, 多态信息含量(PIC)变幅为 0.07~0.81, 平均为 0.40。聚类分析将 32 份材料分为 5 个类群, 其中 12 份高含油量种质材料划分成 3 个类群, 剩余的 20 份种质材料划分成 2 个类群。关联分析检测到与种仁含油量性状显著关联的位点 11 个, 分布在 9 条染色体上, 用两种方法计算结果显示其解释表型变异为 0.043 6~0.144 9。

关键词: 棉花; 含油量; 遗传多样性; 关联分析

中图分类号: S634.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2015)05-0975-09

Kernel oil content and genetic diversity of upland cotton germplasm

ZHAO Jun, LIU Jian-guang, WU Qiao-juan, ZHAO Liang, XU Jian-wen, XIAO Song-hua

(*Institute of Industrial Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Cotton and Rapeseed, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China*)

Abstract: Cotton is an important economic crop. It has great economic and social benefits to improve oil content of cotton seeds. In this study, seed oil content and fatty acid composition of 24 cotton varieties were measured. The results showed that the oil contents of recently released cotton varieties were significantly lower than high oil materials, and fatty acid composition varied among different varieties. There was no correlation between fatty acid and oil content. 370 pairs of cotton SSR primers distributed on 26 chromosomes of cotton were used for the diversity analysis of 32 cotton varieties. 190 polymorphic loci and 609 alleles were detected. The allele number was 2-9 for these primers, with the average of 3.09, and polymorphic information content was about 0.07-0.81, with the average of 0.40. 32 varieties were clustered into five sub-branches, among which, all high oil materials were grouped in three sub-branches and the remaining 20 varieties in other two. By association analysis, 11 loci related to oil content traits were detected on nine chromosomes of cotton, which explained 0.043 6-0.144 9 of the phenotypic variation.

0.043 6-0.144 9 of the phenotypic variation.

Key words: cotton; oil content; genetic diversity; association analysis

收稿日期: 2015-07-16

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAD01B03); 863 计划项目(2012AA101108); 国家转基因重大专项(2014ZX08005); 农业部保种项目(2015NWB039); 江苏省科技支撑计划项目(BE2013380); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(13)2024]

作者简介: 赵 君(1982-), 男, 山西朔州人, 博士, 副研究员, 研究方向为棉花种质创新与分子育种。(Tel) 025-84390363; (E-mail) sxzhaojun88@aliyun.com

通讯作者: 肖松华, (E-mail) njxsh@sina.com

棉花是中国重要的经济作物, 在国民经济发展中具有举足轻重的作用^[1-3]。棉花不仅能够提供重要的天然纺织原料, 而且棉子中含有丰富的蛋白质、

脂肪、棉子糖、维生素等,棉仁中含有 30.00% 以上的脂肪,其中亚油酸含量高达 55.60%,为加工高级保健油的原料,对预防和治疗冠心病、动脉硬化、高血压和高血脂等心脑血管疾病具有显著疗效^[4]。然而,长期以来限制棉子高效利用的根本原因在于其中含有 1%~2% 棉酚及其衍生物。棉酚对人和单胃动物有毒害,食用后胃粘膜组织易被破坏,引起消化功能紊乱,因此棉子这种食物资源未能被充分开发利用^[5]。随着中国内地棉花种植面积的不断减少以及植棉经济效益的降低,棉花育种家越来越重视特种棉花品种的选育,其中低酚棉的种仁棉酚含量低于国家食用标准(<0.02%)和国际食用标准(<0.04%),具有重要利用价值,所以选育低酚棉将是提高棉花综合利用价值的一个重要方向。

棉子含油量是受多基因控制的数量性状,而且不同研究者所采用的材料和方法不同,获得的研究结果也存在差别,在不同的研究中主要存在上位性、加性和显性效应以及母体影响^[6-8]。另外研究发现,棉子含油量也受环境的影响^[9-10]。棉子油的主要成分是脂肪酸,而棉子中脂肪酸的代谢途径受到多个酶的调节,其中柠檬酸合成酶和乙酰 CoA 羧化酶是 2 个最关键的限速酶。油酰卵磷脂基因(*FAD2-1*)是决定脂肪酸不同组分含量的关键酶。磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶的活性可以控制棉子蛋白质和油脂的比例,预测通过调节磷酸烯醇式丙酮酸羧化酶基因的表达改变棉子油分与蛋白质比例,可以提高棉子中的脂肪酸含量,创造高含油量的棉花材料^[11]。

为了提高棉花的综合利用价值,育种目标既要重视皮棉产量、纤维品质、抗病性和抗虫性的改良,又要兼顾棉子种仁含油量的提高。本研究以高含油量和低酚棉种质系为试验材料,对 32 份棉花种质系进行遗传多样性分析,期望为高油、低酚棉花新品种选育奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本研究所用材料包含 17 个低酚棉品种(系),其中 9 份由中国农业科学院棉花研究所提供,分别是冀棉 19、冀棉 21、冀棉 27、湘棉 18 号、辽棉 11 号、中棉所 18、中棉所 20、汾低 99 和海 1,引入后严格自交繁殖保纯;8 份由江苏省农业科学院选育,分别是苏研 602、苏研 603、苏研 604、苏研 605、苏研 606、苏研 607、苏研 608 和苏研 609,这些材料低酚性状统

合。12 个种仁高含油量品种(系),分别为荆 55263、绵阳 73-39、RNT78、紫色美棉、澳 siv-2、澳 C、澳 L23、苏联棉 91 系、库车 T94-4、远 93 抗 354、邯鄲长绒和 M11。另外 3 个品种为苏棉 8 号、陆地棉遗传标准系 TM-1 和泗抗 1 号,由江苏省农业科学院经济作物研究所保存。

1.2 SSR 分析

取各品种(系)幼嫩叶片,DNA 提取方法参照 Paterson 等^[12]的 CTAB 法。根据南京农业大学公布的遗传图谱^[13]均匀选取分布于棉花 26 条染色体上的 370 对 SSR 引物。所有引物信息可从 <http://www.genome.clemson.edu/projects/cotton> 网站下载。分子标记名称中的大写字母,如 BNL、JESPR 等,代表引物的来源。*Taq* 酶、dNTPs 和 PCR 反应的其他试剂均购自北京天为时代公司。PCR 扩增与染色参照张军等^[14]的方法。

1.3 棉花种仁含油量的测定以及脂肪酸组分分析

棉花种仁含油量测定采用国家标准 GB/T 10359-1999 测定方法。收取成熟期相近,成熟好的棉桃,经浓硫酸脱绒。精选 200 粒饱满种子,使用工具钳将种壳夹出裂口,除去种壳后获得种仁,利用研钵分别对每份种仁进行充分研磨变成粉末状。将滤纸放于 105℃ 烘箱内烘干 2.5 h,置于干燥器内冷却至室温,称质量(M_1)。将 1 g 左右棉仁粉放入滤纸包内,105℃ 烘箱内烘干 2.5 h,置于干燥器内冷却至室温,称质量(M_2)。将称质量过后的装有棉仁粉的纸包放入抽提管内,使用无水乙醚浸泡 16 h,再使用无水乙醚抽提 8 h,控制抽提速度,保证 1 h 内抽提 6~8 次。抽提后,取出纸包,静止过夜,待残留乙醚完全散发后,在 105℃ 烘箱内烘干 2.5 h,称质量(M_3)。棉仁含油量计算公式为: $M = (M_2 - M_3) / (M_2 - M_1) \times 100\%$ 。每份样品含油量数据均测定 3 次,取平均值,并保留两位有效小数。

脂肪酸组分分析参考高建芹等^[15]方法。

1.4 数据统计

对凝胶上清晰可见且有差异的条带进行记录,按分子量从大到小的顺序计带,有带赋值为“1”,无带赋值为“0”,将电泳图谱数字化,运用统计分析软件 NTSYSpc-2.10 分析数据。利用非加权类平均法(Un-weighted pair group mathematics average,UPGMA)进行聚类分析,并绘成树状图。计算位点多态信息含量(PIC), $[PIC = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2]$ ^[16]。

2 结果与分析

2.1 种仁含油量及不同棉种脂肪酸含量分析

在本研究中,我们选择了其中 24 个棉花品种(系),测定了其种仁含油量和脂肪酸组分。结果显示,24 个品种(系)中包括常规陆地棉栽培品种(系)12 个,分别是苏研 602、苏研 603、苏研 604、苏研 605、苏研 606、苏研 607、苏研 608、苏研 609、冀棉

19、冀棉 21、湘棉 18 号和泗抗 1 号,它们的含油量为 28.26%~32.14%,相互之间不存在显著差异;但与其他 12 个高油品系相比,存在显著差异。脂肪酸组分方差分析结果显示,不同品种(系)之间脂肪酸组分存在显著差异(表 1),但是在高含油量品种和低含油量品种之间没有明显差异,即脂肪酸不同组分的含量与含油量之间没有显著相关性(表 2)。

表 1 不同棉花品种(系)种仁含油量和脂肪酸组分

Table 1 The oil content and percentage of fatty acids in different cotton varieties

品种(系)	含油量 (%)	脂肪酸组分(%)							
		肉豆蔻酸 C14:0	棕榈酸 C16:0	棕榈油酸 C16:1	硬脂酸 C18:0	油酸 C18:1	亚油酸 C18:2	亚麻酸 C18:3	花生稀酸 C20:1
M11	41.06a	0.62ef	21.67fghi	0.45fgh	2.52cd	14.69de	58.94ab	0.28bedef	0.42abc
紫色美棉	39.12ab	0.68def	22.96bedef	0.46efgh	2.55bcd	14.58e	57.50abede	0.33bede	0.28def
RTN78	38.02abc	0.69def	23.28bcd	0.50cdefgh	2.56bcd	16.20cde	55.73bcdefg	0.28cdef	0.36abcde
库车 T94-4	37.80abc	0.70def	22.56bcdefg	0.50cdefgh	2.71bcd	16.82bcde	55.30cdefg	0.21g	0.33bcdef
澳 C	37.65abcd	0.61f	22.36bcdefgh	0.47cdefgh	2.72bcd	15.29de	57.25abede	0.29bedef	0.27def
荆 55263	37.31abcd	0.63ef	21.75efghi	0.53bede	2.76bcd	19.66a	53.37fgh	0.31bedef	0.33bcdef
苏联棉 91 系	36.90abcd	0.83b	23.71ab	0.59a	2.54bcd	19.22ab	53.10gh		
绵阳 73-39	36.49bcd	0.66def	23.36bcd	0.53abcd	2.73bcd	17.48abcd	54.18efgh	0.26efg	0.29def
邯郸长绒	35.12bcde	0.79bc	24.67a	0.58ab	2.73bcd	18.61abc	51.66h	0.27defg	0.30cdef
澳 Siv-2	35.05bcde	0.64def	23.47abc	0.49cdefgh	2.66bcd	15.49de	54.94defg	0.29bedef	0.29def
澳 L23/757	34.51cde	0.72cd	22.81bcdefg	0.51cdefg	2.54bcd	15.61de	56.72abedef	0.32bede	0.40abcd
远 93 抗 354	33.41def	0.68def	23.01bcdef	0.50cdefgh	2.91b	15.53de	56.50abedef	0.27efg	0.30cdef
冀棉 19	32.14efg	0.62ef	22.41bcdefg	0.44h	2.90bc	15.34de	57.45abede	0.25fg	0.22f
冀棉 21	31.84efg	0.66def	22.58bcdefg	0.52bcdef	2.72bcd	15.16de	56.90abede	0.29bedef	0.36abcde
苏研 603	31.73efg	0.63ef	21.48ghi	0.44gh	2.56bcd	15.19de	58.41abc	0.30bcdef	0.44ab
苏研 605	29.65fg	0.70de	22.39bcdefgh	0.48cdefgh	2.55bcd	14.15e	59.01ab	0.34abcd	0.28def
苏研 602	29.56fg	0.66def	21.04hi	0.47cdefgh	2.48d	15.29de	59.26a	0.31bedef	0.26ef
苏研 609	29.29fg	0.66def	22.28cdefgh	0.48cdefgh	2.56bcd	14.76de	58.71abc	0.29bedef	0.25ef
湘棉 18 号	29.22fg	0.62ef	20.90i	0.49cdefgh	2.48d	15.39de	58.80ab	0.35ab	0.47a
泗抗 1 号	28.92g	0.92a	23.14bcde	0.54abc	3.25a	15.26de	55.73bcdefg	0.35abc	0.43abc
苏研 604	28.80g	0.68def	22.46bcdefg	0.47defgh	2.51cd	14.39e	58.94ab	0.29bedef	0.26ef
苏研 608	28.73g	0.80bc	21.99defghi	0.48cdefgh	2.40d	19.12ab	54.18efgh	0.40a	0.36abcde
苏研 607	28.49g	0.69def	22.18cdefghi	0.47defgh	2.44d	14.77de	58.83ab	0.29bedef	0.32bcdef
苏研 606	28.26g	0.70de	22.59bcdefg	0.51cdefg	2.43d	15.09de	57.71abcd	0.29bedef	0.31cdef

同列中不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

根据脂肪酸组分测定结果,我们分析了不同品种间饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的含量。其中,饱和脂肪酸包括肉豆蔻酸、棕榈酸

和硬脂酸;单不饱和脂肪酸包括棕榈油酸、油酸和花生烯酸;多不饱和脂肪酸包括亚油酸和亚麻酸。结果显示,饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸的含量与含油

量之间不存在显著相关性。饱和脂肪酸含量变幅为 24.00% ~ 28.20%, 其中含量最高的是邯鄯长绒, 最低的是湘棉 18 号。单不饱和脂肪酸含量变幅为 15.12% ~ 20.52%, 其中含量最高的是荆 55263, 最

低的是苏研 604。多不饱和脂肪酸含量变幅为 51.93% ~ 59.57%, 其中含量最高的是苏研 602, 最低的是邯鄯长绒(表 3)。

表 2 含油量与脂肪酸组分间的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between oil content and percentage of fatty acid

指标	含油量	肉豆蔻酸	棕榈酸	棕榈油酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸
肉豆蔻酸	-0.206							
棕榈酸	0.319	0.511 *						
棕榈油酸	0.155	0.610 **	0.647 **					
硬脂酸	0.111	0.289	0.355	0.289				
油酸	0.292	0.350	0.301	0.626 **	0.06			
亚油酸	-0.399	-0.471 *	-0.669 **	-0.752 **	-0.327	-0.877 **		
亚麻酸	-0.403	0.309	-0.320	-0.098	-0.210	0.017	0.116	
花生稀酸	-0.009	0.128	-0.319	0.006	0.008	-0.006	0.060	0.393

* 表示在 0.05 水平上显著相关, ** 表示在 0.01 水平上显著相关。

表 3 不同棉花品种(系)间饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸含量

Table 3 The contents of saturated and unsaturated fatty acids in cotton varieties

品种(系)	饱和脂肪酸	单不饱和脂肪酸	多不饱和脂肪酸
M11	24.80fgh	15.56de	59.22ab
紫色美棉	26.20bcdef	15.32e	57.83abcde
RTN78	26.53bcde	17.06cde	56.01bcdefg
库车 T94-4	25.96bcdef	17.65bcde	55.52cdefg
澳 C	25.68cdefg	16.03de	57.54abcde
荆 55263	25.14efgh	20.52a	53.67fgh
苏联棉 91 系	27.08abc	20.08ab	53.37gh
绵阳 73-39	26.75bcd	18.30abcd	54.44efgh
邯鄯长绒	28.20a	19.48abc	51.93h
澳 Siv-2	26.77bcd	16.27de	55.23defg
澳 L23/757	26.07bcdef	16.52de	57.04abcdef
远 93 抗 354	26.59bcde	16.34de	56.76abcdefg
冀棉 19	25.69cdefg	15.27e	58.78abc
冀棉 21	25.96bcdef	16.04de	57.19abcde
苏研 603	24.67fgh	16.08de	58.71abc
苏研 605	25.64cdefg	14.92e	59.35ab
苏研 602	24.18gh	16.02de	59.57a
苏研 609	25.50cdefgh	15.50de	59.00abc
湘棉 18 号	24.00h	16.35de	59.15ab
泗抗 1 号	27.30ab	16.22de	56.07abcdefg
苏研 604	25.65cdefg	15.12e	59.23ab
苏研 608	25.19defgh	19.95ab	54.58defgh
苏研 607	25.67cdefg	16.19de	57.92abcd
苏研 606	25.72cdefg	15.91de	58.00abcd

同列中不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平。

对 24 个品种(系)的含油量和脂肪酸组分的遗传多样性分析结果显示,在供试的 24 个品种(系)中,不同品种(系)的含油量和脂肪酸组分均呈正态或近似正态分布;脂肪酸组分中,肉豆蔻酸、硬脂酸和亚麻酸在不同品种(系)中分布比较集中,遗传多样性较差。棉花种仁含油量在不同品种之间差异很大,变幅为 28.26%~41.06%,变异系数为 12.17%。其中含油量最高的是 M11,达到 41.06%;最低的是苏研 606,含油量为 28.26%。在供试的 24 个品种(系)中,棉花种仁脂肪酸组分在不同品种(系)之间存在非常大的差异,其中变异最大的是花生烯酸,变异系数达到 20.30%;肉豆蔻酸含量变幅为 0.61%~0.92%,其中含量最高的是泗

抗 1 号,最低的是澳 C;棕榈酸含量变幅为 20.90%~24.67%,其中含量最高的是邯鄯长绒,最低的是湘棉 18 号;棕榈油酸含量变幅为 0.44%~0.59%,其中含量最高的是苏联棉 91 系,最低的是冀棉 19;硬脂酸含量变幅为 2.40%~3.25%,其中含量最高的是泗抗 1 号,最低的是苏研 608;油酸含量变幅为 14.15%~19.66%,其中含量最高的是荆 55263,最低的是苏研 605;亚油酸含量变幅为 51.66%~59.26%,其中含量最高的是苏研 602,最低的是邯鄯长绒;亚麻酸含量变幅为 0.21%~0.40%,其中含量最高的是苏研 608,最低的是库车 T94-4;花生烯酸含量变幅为 0.22%~0.47%,其中含量最高的是湘棉 18 号,最低的是冀棉 19(表 4)。

表 4 种仁含油量及脂肪酸组分的统计分析

Table 4 Statistical analysis of oil content and percentage of fatty acid in 24 cotton varieties

指标	均值 (%)	最大值 (%)	最小值 (%)	标准差 (%)	变异系数 (%)	偏度	峰度
含油量	33.29	41.06	28.26	4.05	12.17	0.25	-1.36
肉豆蔻酸	0.69	0.92	0.61	0.08	10.88	1.56	2.57
棕榈酸	22.54	24.67	20.90	0.86	3.80	0.22	0.65
棕榈油酸	0.50	0.59	0.44	0.04	7.85	0.89	0.81
硬脂酸	2.63	3.25	2.40	0.19	7.26	1.60	3.50
油酸	15.96	19.66	14.15	1.63	10.21	1.29	0.43
亚油酸	56.63	59.26	51.66	2.18	3.85	-0.66	-0.50
亚麻酸	0.30	0.40	0.21	0.04	12.76	0.60	1.73
花生烯酸	0.32	0.47	0.22	0.07	20.30	0.69	-0.39

2.2 SSR 引物筛选及标记信息分析

依据南京农业大学构建的遗传图谱^[13],在各连锁群每隔 10 cM 选取 1 个 SSR 标记位点,共选用 SSR 标记 370 对。对供试的 32 份材料进行多态性初筛,其中 190 对引物扩增稳定,并表现出多态性,多态性比率为 51.35%(表 5)。

其中 A 亚组多态性位点百分率为 59.16%,D 亚组为 43.46%。在 190 个多态性位点上共检测到 609 个等位变异,各位点检测到的等位变异数不同,变幅为 2~9 个,平均为 3.09 个;只检测到 2 个等位变异的位点有 78 个,占总多态位点的 41.05%;检测到 3 个等位变异的位点 50 个,占 26.31%;检测到 4 个等位变异的位点 33 个,占 17.37%;检测到 5 个等位变异的位点 17 个,占 8.95%;检测到 6 个及 6 个以上等位

变异的位点仅 12 个,占 6.32%。检测到 2~3 个等位变异的位点数占总位点数的 67.38%,说明试验选择的资源中等位变异数普遍较少,遗传多样性较低。190 个位点多态信息含量(PIC)变幅为 0.07~0.81,平均为 0.40;多样性指数变幅为 0.15~0.83,平均为 0.46;其中检测到最多等位变异数的标记是 BNL3383,位于 D9 染色体,检测到的等位变异数是 9 个,PIC 值为 0.81。A、D 亚组分析结果显示,A 亚组平均等位变异数为 3.25,多样性指数为 0.49;D 亚组平均等位变异数为 3.06,多样性指数为 0.47,说明陆地棉 A 亚组遗传多样性略高于 D 亚组。D 亚组可能携带更多的控制重要育种目标性状的基因,在长期的品种改良中承受着更高的选择压力,从而造成更多、更强的选择牵连效应(表 6)。

表 5 基因组多态性标记分布

Table 5 Polymorphic marker distribution on 26 chromosomes of 32 cotton varieties

染色体	选用标记	多态性标记	多态性标记比率 (%)	染色体	选用标记	多态性标记	多态性标记比率 (%)
A01	12	6	50.00	D01	11	5	45.45
A02	10	8	80.00	D02	15	11	73.33
A03	12	5	41.67	D03	11	6	54.55
A04	12	6	50.00	D04	10	3	30.00
A05	19	10	52.63	D05	16	12	75.00
A06	12	9	75.00	D06	14	4	28.57
A07	12	5	41.67	D07	13	5	38.46
A08	12	7	58.33	D08	13	6	46.15
A09	13	9	69.23	D09	15	5	33.33
A10	10	4	40.00	D10	15	6	40.00
A11	18	12	66.67	D11	19	4	21.05
A12	29	23	79.31	D12	15	8	53.33
A13	15	6	40.00	D13	17	5	29.41

A1 ~ A13、D1 ~ D13 分别代表棉花 A、D 染色体亚组的 13 条染色体。

表 6 190 对 SSR 位点多态性信息统计

Table 6 Information of 190 polymorphic SSR loci

基因组	等位变异数	多态性指数	多态信息量
全基因组	3.09	0.46	0.40
A 亚组	3.26	0.49	0.43
D 亚组	3.06	0.48	0.41

2.3 遗传多样性和系谱分析

明确品种间亲缘关系是育种中亲本组配的前提。运用统计分析软件 NTSYSpc-2.10 分析 32 份材料的遗传多样性。利用非加权类平均法 (Un-weighted pair group mathematics average, UPGMA) 进行聚类分析,并绘成树状图(图 1)。32 份材料被分成 5 个类群,在第一类群中包含本研究所有的 19 个陆地棉低含油量品种(系),分别是苏研系列品种(系)、冀棉 19、冀棉 21、冀棉 27、辽棉 11 号、汾低 99、泗抗 1 号、中棉所 18、中棉所 20、TM-1 以及苏棉 8 号。第二类群和第五类群只包含 1 个品种,分别是海 1 和紫色美棉。第三类群包含高含油量品种(系)绵阳 73-39 和荆 55263。第四类群包含剩余的高油品种

(系),分别是 RNT78、澳 siv-2、澳 C、澳 L23、苏联棉 91 系、库车 T94-4、远 93 抗 354、邯郸长绒和 M11。由分类结果可知,本研究所涉及的 32 个品种(系)中的高含油量品种(系)与低含油量品种(系)的遗传差异比较大,遗传距离远。高含油量品种(系)分布于 3 个类群,表明高含油量种质资源遗传基础比较丰富。

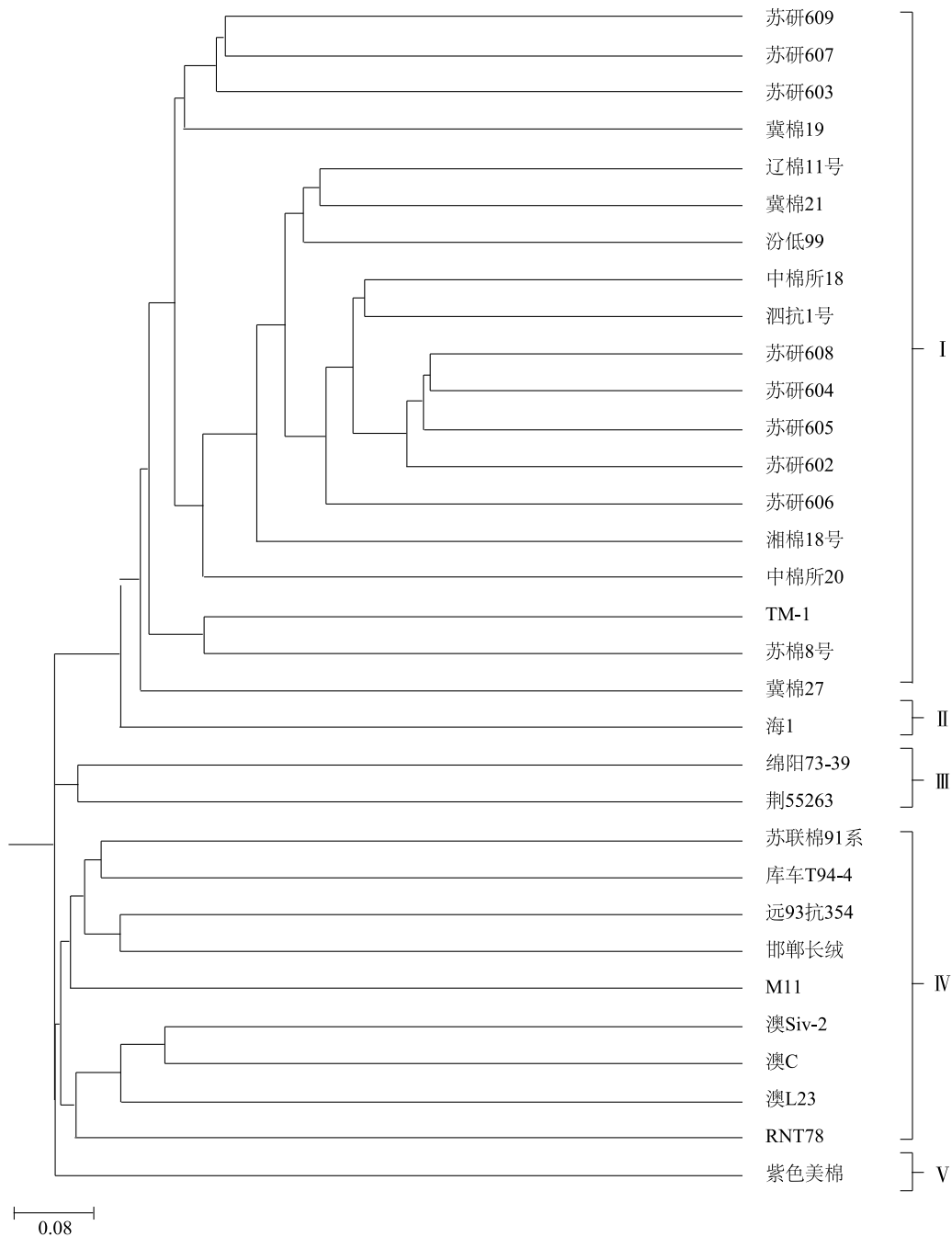
2.4 标记与棉花种仁含油量的关联分析

为减少群体结构和个体间亲缘关系对关联分析结果的影响,本研究分别利用 TASSEL 2.1 软件^[17]的一般线性模型 (General linear model, GLM; Q) 和混合线性模型 (Mixed linear model, MLM; Q+K) 程序,将 196 个位点的等位变异分别与种仁含油量进行关联分析。

与种仁含油量关联的位点见表 7。采用一般线性模型检测到与种仁含油量性状显著关联的位点 11 个,分布在 9 条染色体上,其中 A 亚组 7 个, D 亚组 4 个;混合线性模型检测到与种仁含油量性状显著关联的位点 9 个,分布在 7 条染色体上,其中 A 亚组 6 个, D 亚组 3 个,与标记 NAU2325 和 NAU5428 连锁的位点没有检测到。A12 和 D3 染色体上检测

到2个位点, A12 染色体上的位点分别是标记 *BNL598* 和标记 *NAU3294*, D3 染色体上的位点分别是标记 *NAU2325* 和 *NAU4052*。一般线性模型检测到的位点解释变异 0.056 0 ~ 0.144 9, 其中达到极显著水平的3个, 分别是 A12、D2 和 A2 染色体上的

标记 *BNL598*、*CIR246* 和 *NAU5384*; 采用混合线性模型检测到的位点解释变异 0.043 6 ~ 0.132 3, 其中达到极显著水平的位点3个, 与一般线性模型检测到的极显著位点相同(表7)。



I ~ V 表示5个类群。

图1 32份材料的聚类分析图

Fig.1 Clustering analysis of 32 cotton germplasm

表 7 与棉仁含油量性状显著相关的标记位点及其对表型变异的解释率

Table 7 Marker loci associated with oil content trait and their explained phenotypic variations

标记	染色体	位置 (cM)	混合线性模型		一般线性模型	
			p -MLM	r^2 -MLM	p -MLM	r^2 -MLM
BNL598	A12	117.231	0.003 9	0.132 3 *	0.003 9	0.132 4 *
NAU3294	A12	94.546	0.036 5	0.035 4	0.064 9	0.039 7
CIR343	A8	44.605	0.035 3	0.047 2	0.072 2	0.056 0
CIR246	D2	0	0.007 5	0.125 3 *	0.007 5	0.125 3 *
NAU5384	A2	73.740	0.008 5	0.071 9 *	0.008 5	0.071 9 *
NAU2325	D3	61.134	—	—	0.018 5	0.060 2
NAU3127	A4	116.854	0.030 7	0.052 2	0.045 7	0.067 6
NAU2932	D5	98.365	0.018 1	0.055 4	0.018 5	0.060 2
NAU1272	A6	69.441	0.037 5	0.070 9	0.037 5	0.071 0
NAU5428	A11	147.597	—	—	0.009 9	0.144 9
NAU4052	D3	77.730	0.021 7	0.043 6	0.053 1	0.077 5

* 表示该位点解释变异达 0.01 极显著水平。

3 讨论

棉花是一种重要的经济作物,它不仅给人类提供了纤维原料,而且种子含有 18%~20% 的油脂,棉花种仁直接榨油可生产高质量的食用油,由于棉酚存在,极大地限制棉花种仁的利用。低酚棉种仁榨油无需精炼脱毒,可直接食用,所以选育显性低酚高含油量棉花种质对今后提高棉花整体利用价值具有重要意义^[4]。本研究利用 32 份棉子材料其中包含 17 个低酚棉品种(系)和 12 份高油材料,测定其种仁含油量及脂肪酸组分,结果显示,通过杂交选育的低酚棉品种(系)种仁含油量显著低于高油材料,这与前人报道的含油量的遗传偏向低油亲本一致,即通过多代杂交选育,棉花种仁含油量将会不断降低^[18]。同时也有研究表明,棉花的母体效应对子代含油量存在影响,其效应要高于遗传影响,这意味着在品种选育过程中选择高含油量材料或低含油量材料做母本,对杂交后代种仁含油量将会有显著影响^[6,19]。

利用分子标记研究不同棉花品种(系)的遗传多样性,分析其遗传背景的差异,可以为今后通过配制棉花杂交组合选育高油低酚棉花种质提供参考。本研究将 32 份材料通过聚类发现,低含油量品种(系)和高含油量品种(系)分为 2 大类,而且这 2 类群之间亲缘关系比较远。前人的研究结果表明,种仁含油量与棉花产量之间没有相关性,与棉酚含量

呈正相关^[20-21]。说明在棉花产量及相关性状的改善和提高时不会降低棉花种仁含油量。出现现有品种(系)的含油量显著低于高油种质的含油量的现象,主要有两方面的原因:(一)棉花种仁含油量的遗传模式可能会使杂交后代含油量降低;(二)棉花种仁含油量不是育种家在棉花品种选育过程中关注的主要指标,导致现有品种(系)含油量的降低。

棉花种仁含油量是数量性状,受多基因控制。Yu 等^[22]利用陆地棉与海岛棉回交群体共检测到 17 个与油份含量相关的 QTLs,分布在 12 条染色体上,其中位于 A12 染色体上检测到 2 个 QTLs,其中 1 个解释表型变异 23.64%。刘小芳等^[23]以陆地棉重组自交系群体为材料共检测到 8 个与含油量相关的 QTLs,其中位于 D7 染色体上的 1 个 QTL 在 2 个环境中能同时检测到。李晓娜等以 89 份半野生棉为材料,应用关联分析,在 3 个年份环境下重复检测出 12 个与棉仁含油量显著相关的位点^[24]。本研究检测到的与含油量相关的位点与前人研究部分相同,这与研究材料不同有关系。另外本研究获得的与已经报道的不同的与棉仁含油量性状显著相关的标记位点,可能为棉仁含油量性状的分子标记辅助选择提供依据。

参考文献:

- [1] 吴巧娟,刘剑光,赵摇君,等. 棉花耐盐碱性状的 QTL 定位[J]. 江苏农业学报,2014,30(5):966-971.

- [2] 蔡立旺,陈摇源,王永慧,等. 棉花钾素吸收利用效率与产量的关系[J]. 江苏农业学报,2014,30(5):972-979.
- [3] 李建刚,张卫国,李东方,等. 不同施肥模式对新疆棉花产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):55-58.
- [4] 肖松华,吴巧娟,刘剑光,等. 显性低酚棉新品系种仁营养品质与利用评价[J]. 棉花学报,2012,24(2):127-132.
- [5] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花遗传育种学[M]. 济南:山东科学技术出版社,2009.
- [6] YUAN Y L, ZHANG T Z, JING S R. Studies of the inheritance of seed qualities and the exploitation of F_2 heterosis in low gossypol strains in upland cotton[J]. Acta Genetica Sinica,2001,28(5):471-481.
- [7] 王国印,李蒙恩. 棉子品质性状的遗传研究[J]. 华北农学报,1991,6(2):20-25.
- [8] 朱乾浩. 低酚棉种仁含油量的母体效应和杂种优势分析[J]. 种子,1994(5):5-8.
- [9] 韩智彪. 棉籽油份含量近红外测定技术研究[D]. 武汉:华中农业大学,2012.
- [10] 李文峰,孟亚利,王友华,等. 棉籽蛋白质和油分含量预测的生态模型[J]. 生态学杂志,2011,30(11):2653-2658.
- [11] 王彦霞,刘正杰,马峙英,等. RNA 干扰技术与棉花高油育种[J]. 棉花学报,2011,23(2):178-183.
- [12] PATERSON A H, BRUBAKER C L, WENDEL J F. A rapid method for extraction of cotton (*Gossypium* spp.) genomic DNA suitable for RFLP and PCR analysis [J]. Plant Mol Biol Rep, 1993, 11: 122-127.
- [13] ZHAO L, LV Y D, CAI C P, et al. Toward allotetraploid cotton genome assembly: integration of a high-density molecular genetic linkage map with DNA sequence information[J]. BMC Genomics, 2012, 13:539.
- [14] 张 军,武耀廷,郭旺珍,等. 棉花微卫星标记的 PAGE/银染快速检测[J]. 棉花学报,2000,12(5):267-269.
- [15] 高建芹,浦惠明,戚存扣,等. 应用气相色谱仪分析油菜脂肪酸含量[J]. 江苏农业学报,2008,24(5):581-585.
- [16] 张小娟,何团结,陆徐忠,等. 陆地棉 SSR 核心引物筛选及 95 份骨干种质的遗传多样性分析[J]. 棉花学报,2011,23(6):529-536.
- [17] BRADBURY P, ZHANG Z, KROON D, et al. TASSEL: software for association mapping of complex traits in diverse samples [J]. Bioinformatics, 2007, 23: 2633.
- [18] 廖伯寿,雷 永,王圣玉,等. 花生重组近交系群体的遗传变异与高油种质的创新[J]. 作物学报,2008,34(6):999-1004.
- [19] YE Z H, LU Z Z, ZHU J. Genetic analysis for developmental behavior of some seed quality traits in Upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Euphytica, 2003, 129: 183-191.
- [20] 王国建,朱 军,臧荣春,等. 陆地棉种子品质性状与棉花产量性状的遗传相关性分析[J]. 棉花学报,1996,8(6):295-300.
- [21] 赵永国,郭瑞星. 棉子含油量研究进展与高油棉花育种可行性分析[J]. 棉花学报,2011,23(2):184-188.
- [22] YU J W, YU S X, FAN S L, et al. Mapping quantitative trait loci for cottonseed oil, protein and gossypol content in a backcross inbred line population[J]. Euphytica, 2012, 187: 191-201.
- [23] 刘小芳,李俊文,余学科,等. 利用重组自交系进行陆地棉 (*Gossypium hirsutum* L.) 棉籽油分含量和蛋白质含量的 QTL 定位[J]. 分子植物育种,2013,11(5):520-528.
- [24] 李晓娜,蔡小彦,KIFLOM W O,等. 半野生棉棉仁含油量与 SSR 标记的关联分析[J]. 棉花学报,2015,27(2):104-110.

(责任编辑:袁 伟)