

棕色棉和绿色棉遗传多样性的比较研究

郭江勇¹, 王义琴², 吴明刚¹, 张利明², 刘丰疆¹,
李文彬², 刘海峰¹, 赵天鹏¹, 孙勇如²

(1. 新疆天彩科技股份有限公司, 乌鲁木齐 830016; 2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所, 北京 100101)

摘要: 选用 240 条随机引物, 从中筛选出 6 条对棕色棉新彩 1、新彩 2 和绿色棉新彩 3、新彩 4 及 47 个彩色棉品种间杂种作了 RAPD 多态性分析, 并在棕色棉、绿色棉和棕绿彩棉 3 个水平进行聚类 and 相似性分析。结果表明, 棕色棉之间、绿色棉之间及棕绿彩棉之间的遗传距离和相似性差异不显著, 它反映了棕、绿彩棉之间的遗传基础比较狭窄, 遗传多样性水平相当。可能是因为共同的基础种质资源、相同的育种目标及相近的育种方法造成此结果。

关键词: 棕色棉; 绿色棉; 彩色棉; RAPD; 遗传多样性

中图分类号: Q943

文献标识码: A

文章编号: 0253-9772(2004)01-0063-06

Genetic Diversity Analysis of Brown Cotton and Green Cotton

GUO Jiang-Yong¹, WANG Yi-Qing², WU Ming-Gang¹, ZHANG Li-Ming², LIU Feng-Jiang¹,
LI Wen-Bin², LIU Hai-Feng¹, ZHAO Tian-Peng¹, SUN Yong-Ru²

(1. Rainbow High-Tech Inc. of Xinjiang Urumqi, Urumqi 830016, China;

2. Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Genetic diversity analysis of brown cotton Xincai 1 and Xincai 2 and green cotton Xincai 3 and Xincai 4 and other 47 color cottons was conducted by the random amplified polymorphism DNA (RAPD) techniques, using 6 random primers. Cluster and similarity analysis of these cottons showed that the differences in genetic relationship and similarity among the brown cottons, green cottons and brown-green cottons are not remarkable. The results also reflect that the genetic bases of the brown and green cottons are narrow, and they are at the same genetic diversity level. These results are probably due to the same basic germplasms, the same breeding aims and the similar breeding approaches.

Key words: brown cotton; green cotton; other colored cotton; RAPD; genetic diversity

彩色棉 (colored cotton) 是一种纤维本身带有自然色彩的棉种, 不须通过化工染色可直接织成具有天然色彩的棉花, 又称有色棉。其原始种大多来自美洲大陆和中美洲的短纤维野生彩色棉。彩色棉产业化种植的主要是棕色棉和绿色棉, 目前人工栽培的彩色棉主要是利用现有的彩色棉种质资源与优质白色棉进行杂交、选育或结合生物工程技术进行改良的结果。过去曾采用形态、同工酶等标记对棉

花、水稻等经济农作物的纯度、系谱、遗传多样性分析等进行过广泛的研究, 却发现有一定的技术局限性^[1]。1990 年 Williams 等^[2,3]建立了以 PCR 为基础的 RAPD 分子标记技术后, 许多学者利用 RAPD 分子标记技术对棉花、水稻、玉米、大豆等经济农作物的纯度, 以及系谱、基因组遗传多样性等进行了研究^[4~9]。但更多的是白棉品种之间及与种间杂种的比较^[4~14]。彩色棉品种及棕绿彩色棉种间遗传关系

收稿日期: 2002-11-22; 修回日期: 2003-03-24

作者简介: 郭江勇 (1975-), 男, 助研, 专业: 普通生物学。E-mail: gjy11@sohu.com

通讯作者: 孙勇如 (1939-), 男, 研究员, 博导, 专业: 植物遗传学。电话: 010-64889358, E-mail: yrsun@genetics.ac.cn

和区别的研究报道至今未见。因此,为了进一步揭示彩棉品种及彩棉品种间杂种的遗传关系,有效地促进田间常规育种的选择,本文首次对现有的一些彩色棉品种和种间杂种利用 RAPD 技术进行了遗传多样性研究,企望阐明这些彩棉材料之间的遗传关系。

1 材料和方法

1.1 材料

供试的 51 个彩棉材料均为新疆天彩科技股份有限公司提供。其中棕色棉新彩 1、新彩 2 和绿色

棉新彩 3、新彩 4 为已经通过审定并推广种植的彩色棉品种,其余 47 份材料为彩色棉的品种间杂种(见表 1)。

1.2 试剂及仪器

RAPD 引物、dNTP、GeneRuler™ 100bp DNA Ladder Plus Markers 购自 Sangon 公司, *Taq* 酶、反应缓冲液、 Mg^{2+} 溶液购自华美公司,其他实验试剂药品均为实验室常用分析纯级。

PCR 仪为德国 Biometra PCR 仪,电泳仪、紫外透射仪为美国 Foto。

表 1 供试材料名称及特征特性

Table 1 Names and main characters of materials for the experiment

序号 (Primer No.)	编号 (Code)	材料名称 (Names of materials)	纤维色泽 (Color of cotton fiber)	序号 (Primer No.)	编号 (Code)	材料名称 (Names of materials)	纤维色泽 (Color of cotton fiber)
1	C 2001	六 A-6	绿	27	C 2074	绿 9904	绿
2	C 2005	六 A-5	绿	28	C 2075	绿 9905	绿
3	C 2009	3-6	绿	29	C 2089	山 209-3	绿
4	C 2011	738	绿	30	C 2095	山 209-8	绿
5	C 2016	9502G	绿	31	C 2102	山 209-14	绿
6	C 2017	9502G-49	绿	32	C 2103	山 209-15	绿
7	C 2022	绿好	绿	33	C 2114	新彩 3	绿
8	C 2026	3-9	绿	34	C 2115	新彩 4	绿
9	C 2027	3-8	绿	35	C 2008	Ycol	棕
10	C 2028	3-5	绿	36	C 2019	金黄	棕
11	C 2031	六 A-2	绿	37	C 2024	奶油	棕
12	C 2032	黄绿	绿	38	C 2025	65×7002	棕
13	C 2034	绿色	绿	39	C 2062	Max215	棕
14	C 2035	3-3	绿	40	C2063	新彩 1	棕
15	C 2037	浅绿	绿	41	C 2064	新彩 2	棕
16	C 2041	六 B8	绿	42	C 2065	大棕 BC101	棕
17	C 2042	六 A-7	绿	43	C 2066	棕 BC9804	棕
18	C 2043	六 B2	绿	44	C 2076	棕 9901	棕
19	C 2054	六 B-2	绿	45	C 2077	棕 9902	棕
20	C 2055	六 Ba	绿	46	C 2092	山 209-5	棕
21	C 2056	3-2	绿	47	C 2093	山 209-6	棕
22	C 2057	棕绿	绿	48	C 2097	山 209-10	棕
23	C 2058	灰绿	绿	49	C 2099	山 209-12	棕
24	C 2059	738 自交铃	绿	50	C 2101	山 209-13	棕
25	C 2061	六 B1	绿	51	C 2104	山 209-16	棕
26	C 2067	大绿 GC102	绿				

1.3 方法

1.3.1 彩色棉 DNA 的提取

供试种子经 70% 的乙醇 50s, 0.1% 的 $HgCl_2$ 15min, 无菌水冲洗 2 次, 10% 双氧水 30min, 无菌水冲洗 4 次, 接种于 1/2MSO 固体培养基上, 在 25℃, 光照强度约 4 000Lx 每天 14h 光照培养 5~6d。待两片真叶展平后, 提取总 DNA(方法参见傅荣昭等的 CTAB 法^[10], 稍有改进)。剪取 0.4g 真叶于液氮中研磨至粉末, 加入 700 μ L 预热至 65℃ 的 2×CTAB 提取缓冲液(0.1mol/L Tris-HCl, 1.4mol/L

NaCl, 0.02mol/L EDTA, 2% PVP40, 2% CTAB, 10% SDS, 4% β -巯基乙醇, 用前加入)中混匀, 65℃ 水浴 15min, 中间轻摇混匀, 加入等体积氯仿抽提, 12 000r/min 离心 6min, 取上相, 加入等体积氯仿×异戊醇(24:1)抽提, 12 000r/min 离心 6min, 取上相, 加入两倍体积冰预冷的无水乙醇, -20℃ 静置 20min, 12 000r/min 离心 10min, 80% 乙醇清洗沉淀, 自然干燥, 加入 100 μ L TE (pH8.0) 于 65℃ 水浴中助溶 15min, 12 000rpm 离心 10min 去除不溶物。将上相即彩色棉总 DNA 转入新管中, -20℃ 保存备用。

1.3.2 PCR 扩增

1.3.2.1 RAPD 引物 实验从 240 条 10bp 随机引物中筛选出 6 条稳定性、多态性较好的引物,其编号和序列见表 2。

表 2 随机引物编号及序列

Table 2 Name and sequence of arbitrary primers

引物 Primes	序列 Sequences	引物 Primes	序列 Sequences
S90	5' AGGGCCGTCT 3'	S267	5' CTGGACGTCA 3'
S133	5' GGCTGCAGAA 3'	S270	5' GTCCTGGGTT 3'
S170	5' TCAACGCGAG 3'	S404	5' GGCGGTTGTC 3'

1.3.2.2 PCR 反应体系 反应总体积为 20 μ L,反应体系中含 1 \times PCR 缓冲液,加入 1.5mmol/L 的 MgCl₂,dNTP 400 μ mol/L,Taq DNA 聚合酶 1.0U,随机引物 15ng,基因组 DNA 50ng。混匀置于 PCR 仪上扩增。

1.3.2.3 PCR 反应程序 扩增程序为:94 $^{\circ}$ C 预变性 3 min,94 $^{\circ}$ C 变性 50 s,38 $^{\circ}$ C 退火 50 s,72 $^{\circ}$ C 延伸 90 s,35 个循环,72 $^{\circ}$ C 延伸 8 min。

1.3.3 扩增产物的琼脂糖凝胶电泳

扩增产物 15 μ L 在含 0.05% 溴化乙锭的 1.5% 的琼脂糖凝胶中电泳,电泳缓冲液为 1 \times TAE,恒压 4V/cm 电泳约 2h,紫外透射仪下观察并照相。

1.4 RAPD 数据处理

将筛选出的 6 条随机引物,对 51 个供试材料作 RAPD 比较和聚类分析。对供试的 51 份材料扩增情况做记录,有带记为 1,无带记为 0。根据 STATISTICA for Windows Release 4.5 中的 Euclidean 距离公式计算各材料间的遗传相似系数(Gs),应用平均距离法(UPGMA)进行聚类分析,通过 STATISTICA for Windows 程序运算建立聚类图。

2 结果与讨论

2.1 棕、绿色棉遗传多样性的分析

2.1.1 棕色棉的遗传多样性分析

在棕色棉的 UPGMA 树状聚类分析图中(图 1),可将 17 个棕色棉材料划分为 4 类。I 类中包含 C2065、C2066 和 C2076,3 个彩棉材料,占棕色棉材料的 17.65%。II 类中包含新彩 1、C22062 和 C2104 等 11 个棕色棉材料,占棕色棉材料的 64.70%。III 类只有 C2077 一份棕色棉材料,占棕色棉材料的 5.88%。IV 类中包含 C2008 和 C2025 两个棕色棉材料,占棕色棉材料的 11.76%。其中 C2077 是所有棕色彩棉材料中遗传距离最远的彩棉材料。II 类棕色棉材料 11 份,占棕色棉材料的 64.70%,所占比例远高于其他 3 类,因此从遗传聚类的结果分析表明,大多数供试棕色棉材料的遗传背景比较狭窄。

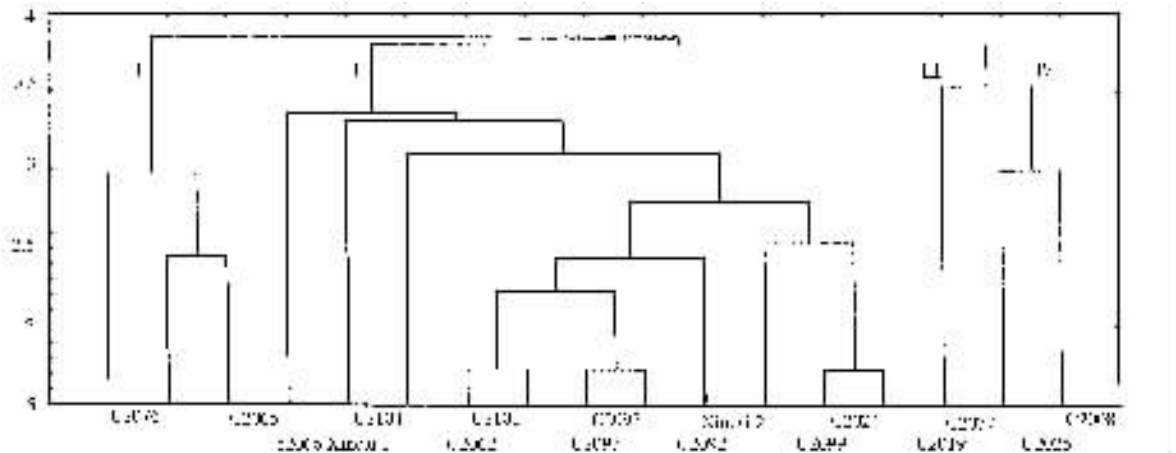


图 1 17 个棕色棉材料的 UPGMA 树状聚类图

Fig. 1 Dendrogram of 17 brown materials for the experiment by UPGMA

2.1.2 绿色棉遗传多样性的分析

在绿色棉的 UPGMA 树状聚类分析图中(图 2),可将 34 个绿色棉材料分为 5 类。I 类中包含 C2027 和 C2055 两份绿色棉材料,占绿色棉材料的 5.88%。II 类中包含新彩 3、新彩 4 和 C2043 等 9 个绿色棉材

料,占供试绿色棉材料的 26.47%。III 类包含 C2009、C2028 和 C2031 等 15 个绿色棉材料,占绿色棉材料的 44.12%。IV 类中包含 C2011 和 C2032 两个绿色棉材料,占绿色棉材料的 5.88%,V 类中包含 C2001、C2058 和 C2061 等 6 个绿色棉材料,占绿色棉材料的

17.65%。其中Ⅱ、Ⅲ两类绿色棉材料 24 份,占绿色棉材料的 70.59%,所占比例较高。因此从遗传聚类的结果分析表明,大多数供试绿色彩棉材料的遗传背景比较狭窄,但其遗传多样性相对来讲又高于棕色棉。为了验证棕、绿两类彩色棉之间遗传距离是否有显著

差异,我们计算了棕、绿彩棉的遗传距离数值的方差和平均数(表 3),并进行了两个样本的方差差异比较(参见马育华^[11]),结果证明:棕、绿彩棉之间的方差差异程度不显著,所以棕、绿两类彩色棉整体之间遗传多样性差异不显著。

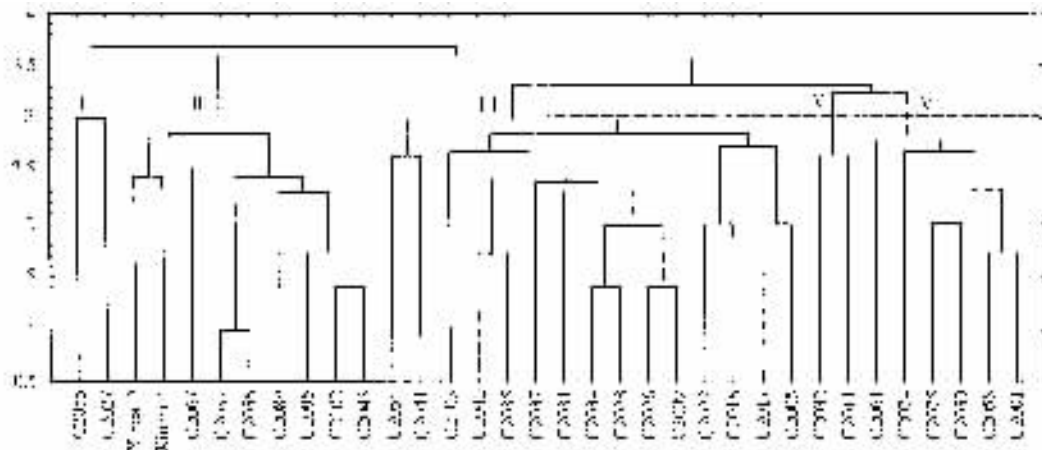


图 2 34 个绿色棉材料的 UPGMA 树状聚类图

Fig. 2 Dendrogram of 34 green materials for the experiment by UPGMA

表 3 供试材料的统计表

Table 3 Statistics table of materials for the experiment

	棕色棉 Brown cotton	绿色棉 Green cotton	彩色棉(棕绿两类) Colored cotton (brown and green)
平均值 Average	3.42(X_1)	3.00(X_2)	3.32(X_3)
标准方差 Standard variance	0.4250(S_1)	0.3603(S_2)	0.4011(S_3)
方差的 F 检验 Variance ratio test	1.1796 (S_1/S_2)	1.1324 (S_3/S_2)	1.0596 (S_1/S_3)

2.2 棕绿彩棉的遗传多样性分析

2.2.1 棕绿彩棉的聚类分析

在我们将棕、绿两类彩色棉作为彩色棉一类进行 UPGMA 树状聚类分析时(图 3),可将 51 个彩色棉材料分为 6 类。I 类中只有 C2077 一份棕色棉材料,占彩棉材料的 1.96%。Ⅱ类中包含新彩 2、新彩 3 和新彩 4 等 16 个彩棉材料,占彩棉材料的 31.38%。Ⅲ类包含新彩 1、C2027 和 C2055,3 个彩色棉材料,占彩棉材料的 5.88%。Ⅳ类中包含 C2005、C2009 和 C2016 等 18 个彩色棉材料,占彩棉材料的 35.29%,Ⅴ类中包含 C2008、C2011 和 C2032,3 个彩色棉材料,占彩棉材料的 5.88%。Ⅵ类中包含 C2001、C2058 和 C2059 等 10 个彩色棉材料,占彩棉材料的 19.61%。其中Ⅱ

、Ⅳ两类彩棉材料 34 份,占彩棉材料的 66.67%。Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ 3 类彩棉 44 份,占彩棉材料的 86.28%。因此,遗传聚类分析的结果表明,大多数供试彩棉材料来源于Ⅱ、Ⅳ两类或Ⅱ、Ⅳ、Ⅵ 3 类彩棉材料,彩棉整体的遗传背景比较狭窄。但棕绿色彩棉整体的遗传多样性从聚类百分比的分散程度相对来讲又高于棕、绿色彩棉。造成这种结果的原因可能有两个:(1)其自身的遗传背景造成的;(2)由于供试材料的叠加累积造成的。为此我们计算了棕、绿彩棉,以及整体棕绿彩棉的遗传距离数值的方差和平均数(表 3),并进行了两个样本的方差比较,结果证明:棕色彩棉与整体棕绿彩棉之间和绿色棉与整体棕绿彩棉之间的方差差异程度不显著,所以彩色棉整体之间遗传多样性差异不显著,处在同一水平。也进一步说明了这种聚类差异是由其自身的遗传背景造成的。

2.2.2 棕绿彩棉的相似性分析

在数据分析中,发现棕色彩棉材料间相似性在 0.6 以上的占 66.81%,绿色彩棉材料间相似性在 0.6 以上的占 81.46%,棕绿两色彩棉材料间相似性在 0.6 以上的占 76.08%(表 4、表 5),说明棕色彩棉、绿色彩棉,以及整体彩棉材料间的相似性比较高,亲缘关系比较近。可能是因为共同的基础种质资源、相同的育种目标及相近的育种方法造成此结果。

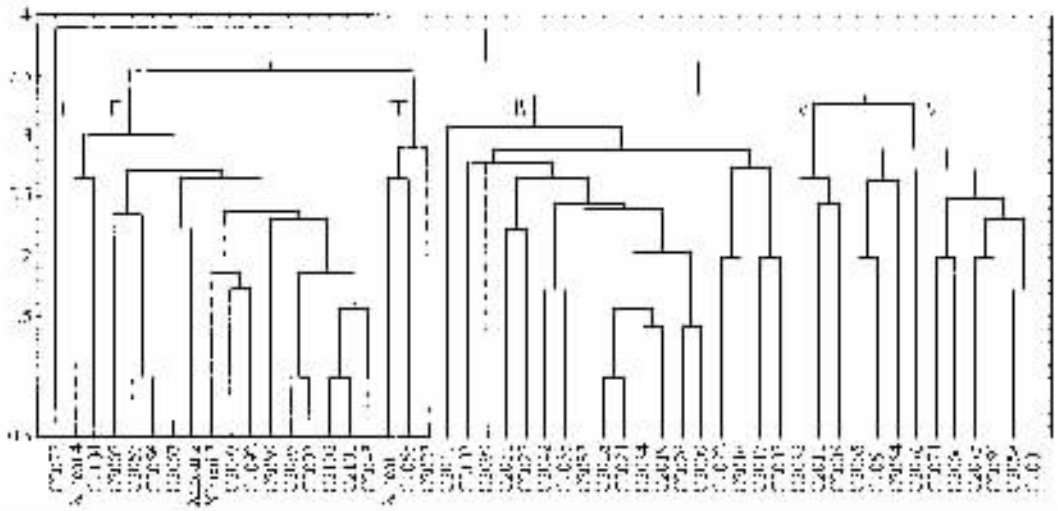


图 3 51 个绿色棉材料的 UPGMA 树状聚类图

Fig. 3 Dendrogram of 51 materials for the experiment by UPGMA

表 4 供试材料相似性数据的分布情况

Table 4 Frequency distribution of similarity coefficients from materials for the experiment

msc*	棕色棉相似性数据的分布 Frequency distribution of similarity coefficients from brown cotton		绿色棉相似性数据的分布 Frequency distribution of similarity coefficients from green cotton		彩色棉(棕、绿色)相似性数据的分布 Frequency distribution of similarity coefficients from colored(brown and green) cotton	
	No.	百分率(%) Percentage	No.	百分率(%) Percentage	No.	百分率(%) Percentage
(1.0, 0.9]*	3	2.21%	12	2.14%	25	1.96%
(0.9, 0.8]	20	14.71%	93	16.58%	207	16.24%
(0.8, 0.7]	40	29.41%	204	36.36%	433	33.96%
(0.7, 0.6]	27	19.85%	148	26.38%	305	23.92%
(0.6, 0.5]	36	26.47%	89	15.86%	254	19.92%
(0.5, 0.4]	8	5.88%	15	2.67%	48	3.76%
(0.4, 0.3]	2	1.47%	0	0%	3	0.24%

(1.0, 0.9]* 指 0~0.1, 但不包括 0.1, 其他类同

msc* means similarity coefficients between 0 and 2.00, but 2.00 not included

表 5 供试彩棉材料的相似系数比较

Table 5 Comparison of the similarity coefficient for the experiment

	棕色棉相似系数 The similarity coefficient of brown cotton	绿色棉相似系数 The similarity coefficient of green cotton	彩色棉相似系数 The similarity coefficient of colored(brown and green) cotton
最大值 Maximum	0.92	0.97	0.97
最小值 Minimum	0.35	0.41	0.35
平均值 Average	0.67	0.70	0.69

在 51 个供试的彩棉材料中,新彩 1、新彩 2、新彩 3 和新彩 4 为已通过审定并大面积推广的彩色棉品种。在分析它们两两之间的相似性系数中(表 6),总的看来新彩 1 与其余 3 个彩棉品种的相似性系数低于其他 3 个彩棉两两之间的相似性系数,与聚类的结果相一致。并且 4 个彩棉品种的相似性似乎并没有因为棉纤维的色泽变化而呈现出明显的差异。这说明彩棉之间控制色泽的基因很可能只占棉花基因组中的很少一部分。

另外,在棕色棉、绿色棉,以及棕绿色彩棉之间有的两两材料之间的相似性非常高。如:棕色棉 C2019 和 C2024 之间相似性系数 0.98;绿色棉 C2009 和 C2026 之间相似性系数 0.95;棕绿色彩棉之间的棕 C2093 和绿 C2095 相似性系数 0.97。这一情况可能是以下 3 方面原因单独或相互作用造成的:(1)材料自身的遗传背景差异造成的;(2)RAPD 数据分析是一种统计分析,数据库越大其数据越接近实际样品基因组的情况。由于数据库仍然不够大,

以致造成这种结果;(3)统计结果中的几条引物正好是比较全面反映两材料基因组差异性的引物。

表 6 供试彩棉材料的相似系数比较

Table 6 Comparison of the similarity coefficient for the experiment

	新彩 1 Xincai1	新彩 2 Xincai2	新彩 3 Xincai3	新彩 4 Xincai4
新彩 1(Xincai1)	1			
新彩 2(Xincai2)	0.68	1		
新彩 3(Xincai3)	0.65	0.78	1	
新彩 4(Xincai4)	0.59	0.78	0.84	1

2.3 小结

利用 RAPD 技术可以检测出不同品种在分子水平上的差异,其结果可为杂种优势的利用提供依据^[12],评估遗传多样性^[13]。一般来讲,在聚类分析的树状图中,聚在不同类群或遗传距离比较远的材料,其相互杂交时杂种优势可能较高^[14]。如本文聚类中的棕色棉 C2077,它在棕色棉以及棕绿色彩棉之间聚类时都显示出了其遗传距离较远。因此,根据本文的研究结果,利用聚类树状图进行选配亲本组合,可望早日培育出彩棉新品种。

参考文献(References):

- [1] XU Qiu-Hua, ZHANG Xian-Long, NIE Yi-Chun. Genetic diversity evaluation of cultivars (*G. hirsutum* L.) from the Changjiang River valley and Yellow River valley by RAPD markers. *Acta Genetica Sinica*, 2001, 28(7): 683~690.
- 徐秋华, 张献龙, 聂以春. 长江、黄河流域两棉区陆地棉品种的遗传多样性比较研究. *遗传学报*, 2001, 28(7): 683~690.
- [2] Williams J G K, A R Kubelik, Livak K J, Rafalski J A, Tingey S V. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research*, 1990, 18: 6513~6535.
- [3] Welsh J, McClelland M. Fingerprinting genomes using PCR with arbitrary primers. *Nucleic Acids Research*, 1990, 18(24): 7213~7218.
- [4] BIE Shu, KONG Fan-Ling, ZHOU You-Yao, ZHANG Guang-Mei, ZHANG Qun-Yuan, WANG Xiao-Gang. Genetic diversity analysis of representative elite cotton varieties in three main cotton regions in China by RAPD and its relation with agronomic characteristics. *Scientia Agricultura Sinica*, 2001, 34(6): 597~603.
- 别墅, 孔繁玲, 周有耀, 张光梅, 张群远, 王孝纲. 中国 3 大主产棉区棉花品种遗传多样性的 RAPD 及其与农艺性状关系的研究. *中国农业科学*, 2001, 34(6): 597~603.
- [5] WU Yao-Ting, ZHANG Tian-Zhen, YIN Jian-Mei. Genetic diversity detected by DNA marker and phenotypes in upland cotton. *Acta Genetica Sinica*, 2001, 28(11): 1040~1050.

- 武耀廷, 张天真, 殷剑美. 利用分子标记和形态学性状检测的陆地棉栽培品种遗传多样性. *遗传学报*, 2001, 28(11): 1040~1050.
- [6] LIU Gen-Qi, JIAO Chuan-Zhen, JIANG Ru-Qin, ZHANG Xin-Xue, JIANG Bao-Gong, ZHAO Shi-Min, XU Jin-Xiang, LIANG Zheng-Lan. A study of genetic character of cultivar shiyuan 321 from *G. barbadense* × *G. thurberi* × *G. hirsutum* using isozyme and RAPD techniques. *Acta Genetica Sinica*, 2000, 27(11): 999~1005.
- 刘根齐, 焦传珍, 姜茹琴, 张欣雪, 姜保功, 赵世民, 徐金相, 梁正兰. 用同工酶和 RAPD 技术研究棉花三元杂种石远 321 新品种的遗传特性. *遗传学报*, 2000, 27(11): 999~1005.
- [7] LI Yun-Hai, QIAN Qian, ZENG Da-Li, SUN Xian-Xiu. Identification by RAPD analysis and studies on genetic relationship of main parents of hybrid rice in China. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(2): 171~176.
- 李云海, 钱前, 曾大力, 孙宪修. 我国主要杂交水稻亲本的 RAPD 鉴定及遗传关系研究. *作物学报*, 2000, 26(2): 171~176.
- [8] WU Min-Sheng, DAI Jing-Run, WANG Shou-Cai. Application of RAPD in cultivar identification and purity test in maize. *Acta Agronomica Sinica*, 1999, 25(4): 489~493.
- 吴敏生, 戴景润, 王守才. RAPD 在玉米品种鉴定和纯度分析中的应用. *作物学报*, 1999, 25(4): 489~493.
- [9] WANG Xiao-Quan, ZOU Yu-Ping, ZHANG Da-Ming, ZHANG Zhi-Xian, HONG De-Yuan. Problems in the use of RAPD to the study of genetic diversity and systematics. *Acta Botanica Sinica*, 1996, 38(12): 954~962.
- 汪小全, 邹喻苹, 张大明, 张志宪, 洪德元. RAPD 应用于遗传多样性和系统学研究中的问题. *植物学报*, 1996, 38(12): 954~962.
- [10] FU Rong-Zhao, SUN Yong-Ru, JIA Shi-Rong. Technical Manual of Plant Genetic Transformation. Beijing: Science and Technology Press of China, 1994, 133~134.
- 傅荣昭, 孙勇如, 贾士荣. 植物遗传转化技术手册. 北京: 中国科学技术出版社, 1994, 133~134.
- [11] MA Yu-Hua. Experimental Statistics. Beijing: Agriculture Press, 1985.
- 马育华. 试验统计. 北京: 农业出版社, 1985.
- [12] WANG Xue-De, PAN Jia-Ju. Studies on relationship between genetic distance of parents and yield heterosis in hybrid cotton. *Acta Agronomica Sinica*, 1990, 16(1): 32~38.
- 王学德, 潘家驹. 棉花亲本遗传距离与杂种优势间的相关性研究. *作物学报*, 1990, 16(1): 32~38.
- [13] ZUO Kai-Jing, SUN Ji-Zhong, ZHANG Jin-Fa, NIE Yi-Chun, LIU Jin-Lan. Genetic diversity evaluation of some Chinese elite cotton varieties with RAPD markers. *Acta Genetica Sinica*, 2000, 27(9): 817~823.
- 左开井, 孙济中, 张金发, 聂以春, 刘金兰. 用 RAPD 标记评估我国棉花品种遗传多样性. *遗传学报*, 2000, 27(9): 817~823.
- [14] XU Jing-Pei, SUN Wu-Cheng, CHENG Rong, LIN Yi. Quantitative Genetics and Rice Breeding. Hefei: Science and Technology Press of Anhui, 1990.
- 徐静斐, 孙五成, 程融, 林毅. 数量遗传学与水稻育种. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1990.