

棉花 γ 辐射诱变后代 M_5 农艺经济性状的遗传变异

孙君灵¹, 杜雄明^{1*}, 孙其信², 周忠丽¹, 潘兆娥¹, 庞保印¹

(1. 中国农业科学院棉花研究所 农业部棉花遗传改良重点开放实验室, 河南安阳 455000;

2. 中国农业大学, 北京 100094)

摘要: 利用 250Gy 的 Co^{60} γ 射线对棉花 3 个品种的干种子进行辐射处理, 对其 M_5 农艺经济性状的遗传变异进行分析。结果表明: 3 个品种的 M_5 群体的铃重、单株铃数、株高、果枝数和麦克隆值的平均变异系数均超过 10.0% 以上, 3 个品种的辐射诱变后代 M_5 群体表型性状变异系数存在明显差异; 3 个品种的 M_5 群体的铃重与 2.5% 跨长和比强度均呈显著或极显著正相关, 在其它性状间的相关性上 3 个品种的 M_5 群体间存在较大差异; 3 个品种的 M_5 群体的 2.5% 跨长均为第一主成分的主要因子。这阐明了辐射对不同棉花品种的诱变效果存在差异, 揭示了辐射创造了丰富的遗传变异。

关键词: 棉花; Co^{60} γ 射线; 农艺经济性状; 遗传变异

中图分类号: S562.035.2 **文献标识码:** A

文章编号: 1002-7807(2006)02-0083-06

Analysis on Genetic Variation of Agronomic and Economic Traits of Cotton in M_5 Progeny Irradiated by γ Ray

SUN Jun-ling¹, DU Xiong-ming^{1*}, SUN Qi-xin², ZHOU Zhong-li¹, PAN Zhao-e¹, PANG Bao-yin¹

(1. Cotton Research Institute, CAAS, Key Laboratory of Cotton Genetic Improvement, Ministry of Agriculture, Anyang Henan 455000, China; 2. China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: The seeds of three cotton lines were irradiated by Co^{60} γ ray. Genetic variation of agronomic and economic traits of their M_5 progeny was analyzed. The results showed averages of variation coefficients were above 10.0% for boll weight, boll number per plant, height, fruit branch number and micronaire value of M_5 progenies of three varieties irradiated populations. The coefficient of variation (CV) of the phenotypic characters among M_5 colonies derived from three cotton varieties were very significant. The positive correlation between boll weight and 2.5% span length and fiber strength were significant at 0.01 or 0.05 levels in three varieties population of M_5 progenies. The correlation among other traits of three population of M_5 progenies were difference. 2.5% span length was the main factor in the first principal component. This clarified that the radiation of different cotton varieties resulted in the different of variation. and γ ray radiation can result in abundant genetic variation.

Key words: cotton; Co^{60} γ ray; agronomic and economic traits; genetic variation

辐射诱变育种的目的是在诱变后代群体中选出稳定的优异突变体加以利用。辐射诱变的第一代 M_1 在遗传上是一个复杂的嵌合体, 主要表现为损伤效应, 出现的变异一般不能传递后代;

M_2 是诱发突变表现最为明显的世代, 大多数学者都选择它作为辐射诱变后代性状变异研究的主要材料^[1-8]。但作物的产量和经济性状大多数是受微效基因控制, 通过突变基因的累加作用, 使微

收稿日期: 2005-08-25 作者简介: 孙君灵(1969-), 男, 副研究员; * 通讯作者, duxm@cricaas.com.cn

基金项目: “十五”国家科技攻关项目(2004BA525B05), “863”计划项目(2004AA227140)

突变成为明显的性状变异,而 M_2 能检测出的突变一般为性状易于鉴别的“大突变”突变体^[1,9]。同时由于性状间存在着相关性,一种性状的变异有可能引起其它性状的变异,在 M_2 各个性状间的遗传变异关系也较难进行分析。因此,在辐射诱变育种中,育种家一般采用多年多代选择的方法来选育诱变材料^[9-10]。

试验通过对三个棉花品种进行辐射处理后,对其 M_5 主要农艺经济性状的遗传变异进行统计分析,拟探讨出不同辐射诱变群体的纤维品质和产量性状的遗传变异差异及其规律,为棉花种质资源创新及品种选育提供依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

2000年利用250Gy的 $Co^{60}\gamma$ 射线对Arcot-1(国外引进品种)、Su9108(大铃品种)和J11(国内品种)3个品种的风干种子进行辐射处理,2000年获得 M_1 ,单株收获,2001年种植 M_2 ,从 M_2 株行中继续选择变异单株,2002年种植 M_2 的株系或变异单株成 M_3 株系,从 M_3 开始进行自交保纯,2003年种植 M_3 株系成 M_4 ,2004年种植 M_5 。

1.2 试验方法

2004年在中国农业科学院棉花研究所试验田分别对34个Arcot-1、25个Su9108、17个J11的 M_5 株系进行随机区组排列种植,三次重复,行长5m,行距0.8m,株距0.25m。9月中旬,每行随机对10株进行株高、果枝数和铃数测定,10

月初,每行收棉株中部正常吐絮铃30个,室内考种,测铃重、衣分,纤维棉样送农业部棉花品质监测中心检测纤维品质。

1.3 数据处理与统计方法

采用SPSS11.0统计分析软件对产量和经济性状数据分别进行方差、相关和主成分分析。相关分析采用Pearson相关系数。

2 结果与分析

2.1 棉花辐射诱变后代 M_5

Arcot-1的诱变后代 M_5 与未辐射处理的亲本相比,有20%左右为正常株型,不正常植株主要表现在叶片变小、变皱,铃变小,有些株型变紧凑、有些变松散,且有10%~20%的植株出苗后,在苗期死亡。Su9108的诱变后代 M_5 的植株主要表现为,出苗晚,有20%~30%的植株出苗后,在苗期死亡,剩余大多数植株的株型变化不大,不正常植株主要表现在叶微皱、较小,植株矮化。而J11的诱变后代 M_5 ,所有植株均出苗晚,70%~80%幼苗的真叶无或缩小,且在苗期死亡,有些植株无蕾,有些铃变小,叶变皱,植株均表现明显矮化。

2.2 未辐射处理亲本

2004年,三个未辐射处理亲本品种在各表型性状上均存在一定的差异,且株高、铃数和果枝数性状变幅相对较大,单铃重、伸长率等性状变幅较小(表1)。三个亲本品种中,Su9108的衣分、铃重和比强度等性状值均为最大,另两个品种之间各性状值差异不大。

表1 3个品种未辐射处理亲本的主要农艺经济性状的变幅分析

Table 1 The analysis of variation of agronomic and economic traits of original varieties

品种群体	衣分 /%	单铃重 /g	株高 /cm	铃数 /个	果枝数 /个	2.5%跨长 /mm	整齐度 /%	比强度 /(cN·tex ⁻¹)	伸长率 /%	麦克隆值
Arcot-1	39.0±0.3	5.3±0.1	74.9±3.7	15.4±3.4	10.3±1.3	31.0±0.5	84.2±1.7	29.7±0.2	6.7±0.2	4.5±0.3
Su9108	42.3±0.5	7.1±0.1	63.4±2.6	10.6±0.4	7.7±0.1	30.9±0.4	86.0±0.3	32.6±0.2	6.0±0.0	4.8±0.2
J11	39.1±0.1	5.3±0.1	64.1±3.0	13.8±1.2	9.1±1.7	30.7±0.1	86.5±0.4	29.7±0.6	6.7±0.2	5.5±0.2

2.3 辐射诱变后代 M_5 群体主要农艺经济性状的变异

由表2可以看出三个诱变后代株系群体的各个农艺经济性状的变异范围、平均数和变异系数均存在明显差异。从平均变异系数分析,铃重、铃数、株高、果枝数和麦克隆值的变异系数均超过10.0%以上,其中铃数的变异系数达29.03%;纤维整齐度的变异系数最小,为1.32%,2.5%跨长和比强度的变异系数也相对较小;这说明产量性

状比纤维品质性状的变异大,从诱变后代 M_5 群体中选择高产品种的可能性较大。在3个品种的 M_5 群体中,相同性状的变异系数也存在较大差异,其中,Arcot-1诱变株系的麦克隆值变异系数比其它两个品种小,而Su9108诱变株系的衣分变异系数最大,J11诱变株系的伸长率变异系数最大。说明以同等条件进行辐射诱变,不同品种诱变后代 M_5 表型性状的变异范围和方向是不同的;同时,变异较大性状主要表现在单株铃数、果

枝数、整齐度和伸长率等性状上,所以在 M_5 群体中选择纤维品质性状的突变体是有效的,产量性状在 M_5 以后世代中可能选择到更好材料。因

此,育种家可以根据自己的育种目标有目的的选择突变材料,从而缩短品种的选育时间。

表 2 3 个品种的 M_5 群体主要农艺经济性状的变异分析

Table 2 The analysis of variation of agronomic and economic traits of M_5 progeny of three varieties irradiated populations

品种群体	衣分 /%	单铃重 /g	株高 /cm	铃数 /个	果枝数 /枝	2.5%跨长 /mm	整齐度 /%	比强度 /(cN·tex ⁻¹)	伸长率 /%	麦克隆值	
变幅	Arcot-1	39.2±4.6	5.3±3.7	74.7±27.1	14.1±11.6	9.8±4.5	30.9±3.4	85.3±3.8	28.9±5.3	6.8±1.2	4.4±1.0
	su9108	40.1±9.6	6.2±2.3	60.7±36.1	9.8±10.9	7.7±3.0	29.8±4.7	85.8±2.9	33.3±5.7	6.0±1.2	4.7±2.1
	J11	40.7±4.7	5.5±2.0	68.1±14.4	11.5±8.8	9.3±2.8	30.8±3.0	85.6±4.0	28.2±5.9	6.9±1.6	4.9±1.6
变异系数	Arcot-1	4.72	15.88	12.82	24.07	14.96	3.95	1.35	6.73	7.92	7.72
	su9108	7.58	15.75	14.60	33.49	14.41	5.28	1.09	6.57	7.55	17.39
	J11	5.77	14.08	8.89	29.55	14.06	4.69	1.50	8.96	10.88	13.76
	平均	6.02	15.24	12.10	29.03	14.47	4.64	1.32	7.42	8.78	12.96

表 3 3 个品种的 M_5 群体主要农艺经济性状的简单相关系数

Table 3 The bivariate correlation coefficients of agronomic and economic traits of M_5 progenies of three varieties irradiated populations

	衣分	单铃重	2.5%跨长	整齐度	比强度	伸长率	麦克隆值	株高	铃数
铃重	0.0498								
	0.4766**								
	-0.1220								
2.5%跨长	-0.3660**	0.3083**							
	0.7058**	0.5577**							
	-0.5180**	0.3600*							
整齐度	0.0375	0.2521*	0.2525*						
	0.1105	0.2386*	0.3114**						
	-0.4348**	0.0925	0.5931**						
比强度	-0.2979**	0.4363**	0.4794**	0.3457**					
	0.1685	0.3710**	0.4714**	0.2383*					
	-0.3703*	0.4467**	0.8301**	0.6733**					
伸长率	0.1347	-0.2544*	-0.1609	0.0159	-0.4419**				
	0.6046**	0.0079	0.5197**	0.0632	0.1812				
	-0.5148**	-0.1155	0.5309**	0.4426**	0.3452*				
麦克隆值	0.0600	0.1592	-0.1012	0.4028**	0.0913	-0.2380*			
	-0.6533**	-0.1052	-0.6379**	0.1080	-0.3194**	-0.8156**			
	0.2946	0.1774	-0.4096**	-0.0560	-0.1902	-0.8208**			
株高	-0.2729**	0.1492	0.3075**	0.0962	0.1038	-0.0314	0.2504*		
	-0.4799**	0.0328	-0.3268**	-0.0769	-0.1546	-0.4322**	0.4592**		
	-0.0961	0.2733	0.2968	0.0714	0.1984	-0.0927	0.0011		
铃数	-0.2174*	-0.1443	-0.1056	-0.0822	-0.0747	0.1870	0.1054	0.2314*	
	-0.6300**	-0.2116	-0.4989**	0.0075	-0.1639	-0.3047*	0.5202**	0.5274**	
	0.2482	-0.0482	-0.1476	0.0555	-0.0313	-0.3865*	0.5105**	0.2377	
果枝数	-0.2103*	-0.0948	-0.0612	-0.1285	0.0406	0.1704	0.0770	0.4210**	0.7169**
	-0.5469**	-0.0596	-0.3553**	0.0918	-0.1739	-0.4046**	0.5446**	0.6804**	0.7410**
	0.0892	-0.0063	0.0821	0.0559	0.0380	-0.0954	0.1520	0.2173	0.3289*

注: *、** 分别表示 5%、1% 显著水平,下同。每个性状有 3 行数字,第 1~3 行分别为 Arcot-1、Su9108、J11 的简单相关系数。

2.4 辐射诱变后代 M_5 主要农艺经济性状的相关性

2.4.1 简单相关系数分析。从表 3 可知,在 3 个品种的 M_5 群体中,其农艺经济性状的简单相关系数有较大差异。对于 Arcot-1 的 M_5 群体,衣分与 2.5% 跨长、比强度和株高都呈极显著负相关,与铃数和果枝数呈显著负相关;铃重与 2.5% 跨长和比强度呈极显著正相关,与伸长率呈显著负相关;铃数和果枝数与 5 个纤维品质性状无显著相关。在 Su9108 的 M_5 群体中,衣分与铃重、2.5% 跨长和伸长率都呈极显著正相关,与麦克隆值、株高、铃数和果枝数均呈极显著负相关,铃重与比强度呈极显著正相关,铃数和果枝数与 2.5% 跨长和伸长率呈显著或极显著负相关。在 J11 的 M_5 群体中,衣分与 2.5% 跨长和整齐度均呈极显著负相关,与比强度呈显著负相关,铃重与比强度呈极显著正相关。3 个品种诱变株系的铃重与 2.5% 跨长和比强度均正相关,因此,在一定范围内选择铃较大的株系就更容易选择到 2.5% 跨长和比强度均较大的材料,从而有利于选择到纤维品质优质株系。

2.4.2 偏相关系数分析。表 4 显示,在 2.5% 跨长、整齐度、比强度、伸长率和麦克隆值等性状固定时,3 个品种的 M_5 群体之间的偏相关与简单相关均有所不同,Arcot-1 M_5 群体的 2.5% 跨长

与铃重和株高、Su9108 M_5 群体的 2.5% 跨长与株高、J11 M_5 群体的铃数与果枝数的偏相关系数和简单相关系数的显著性均存在明显差异。Arcot-1 和 Su9108 M_5 群体的株高与铃数和果枝数的偏相关系数为显著或极显著正相关,因此,选择株型较高的棉株就易选择到产量性状较好的变异株系;因衣分与铃数和果枝数的偏相关系数为显著或极显著负相关,与铃重为显著或极显著正相关;这说明在 Arcot-1 和 Su9108 的 M_5 群体中,难选择到衣分和产量均较高的株系。

在衣分、铃重、株高、铃数和果枝数等性状固定时,J11 M_5 群体的其它性状之间的偏相关与简单相关较为一致。Arcot-1 和 Su9108 的 M_5 群体则有所不同,Arcot-1 M_5 群体的 2.5% 跨长与整齐度和麦克隆值、Su9108 M_5 群体的整齐度与比强度的偏相关系数和简单相关系数显著性明显不同。且 J11 M_5 群体的 2.5% 跨长与其它纤维性状的偏相关系数均超过 0.47 以上,它与整齐度、比强度、伸长率呈极显著正相关,与麦克隆值呈极显著负相关;Su9108 的 M_5 群体除 2.5% 跨长与整齐度的偏相关系数呈显著正相关外,2.5% 跨长与其它性状的偏相关性和 J11 的 M_5 群体相似。因此在 Su9108 和 J11 的 M_5 群体中,容易选择到纤维长、强、细等主要指标协调较好的优质株系。

表 4 3 个品种的 M_5 群体主要农艺经济性状的偏相关系数

Table 4 The partial correlation coefficients of agronomic and economic traits of M_5 progenies of three varieties irradiated populations

	衣分	铃重	株高	铃数	2.5%跨长	整齐度	比强度	伸长率	
	0.2438*				0.1879				
铃重	0.4372**				整齐度	0.2661*			
	-0.0541					0.5234**			
	-0.1996	0.0508				0.3359**	0.3320**		
株高	-0.2848*	0.1667			比强度	0.4445**	0.1877		
	-0.0671	0.1858				0.7875**	0.6591**		
	-0.2792**	-0.1157	0.2326*			0.0077	0.1050	-0.3587**	
铃数	-0.4353**	0.0183	0.4243**		伸长率	0.4254**	0.0780	0.2362	
	0.2074	-0.2381	0.2346			0.5172**	0.3852*	0.3740*	
	-0.2200*	-0.1021	0.4578**	0.6936**	麦克隆值	-0.2080*	0.3746**	0.0895	-0.2592*
果枝数	-0.3620**	0.0552	0.5947**	0.7410**		-0.5271**	0.2012	-0.3525**	-0.6781**
	0.1635	-0.1187	0.2026	0.2663		-0.4709**	-0.0249	-0.2931	-0.8106**

注:每个性状有 3 行,第 1~3 行分别为 Arcot-1、Su9108、J11 的偏相关系数。

表 5 3 个品种的 M_5 群体主要农艺经济性状的主成分分析
 Table 5 Analysis on principal components of agronomic and economic traits of M_5 progenies of three varieties irradiated populations

品种	性状	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分	第五主成分	第六主成分
Arcot-1	衣分	-0.386	-0.435	0.521	0.071	0.442	-0.079
	铃重	0.626	-0.200	0.146	0.034	0.626	-0.077
	2.5%跨长	0.692	0.024	-0.416	0.368	-0.036	-0.125
	整齐度	0.515	-0.136	0.509	0.480	-0.248	0.290
	比强度	0.806	-0.047	-0.156	-0.099	0.107	0.378
	伸长率	-0.523	0.236	0.055	0.750	0.066	0.047
	麦克隆值	0.335	0.110	0.788	-0.238	-0.291	-0.097
	株高	0.409	0.581	0.099	0.116	-0.015	-0.630
	铃数	-0.107	0.839	0.123	-0.075	0.125	0.319
	果枝数	-0.014	0.888	0.075	-0.074	0.237	0.122
	贡献率	25.010	21.484	14.034	10.262	8.230	7.800
	累积贡献率	25.010	46.494	60.528	70.790	79.020	86.820
Su9108	衣分	0.863	0.039	0.101	-0.245	0.268	0.121
	铃重	0.407	0.714	-0.0014	-0.464	0.045	0.245
	2.5%跨长	0.818	0.400	0.152	-0.033	0.030	-0.112
	整齐度	0.161	0.635	-0.352	0.481	0.428	-0.155
	比强度	0.406	0.560	-0.067	0.267	-0.651	0.049
	伸长率	0.718	-0.179	0.506	0.316	0.159	-0.087
	麦克隆值	-0.834	0.184	-0.415	-0.070	0.126	0.098
	株高	-0.661	0.359	0.352	-0.311	-0.011	-0.428
	铃数	-0.758	0.218	0.397	0.281	0.020	0.305
	果枝数	-0.745	0.398	0.401	0.049	0.108	0.072
	贡献率	45.495	17.882	10.321	8.617	7.342	4.025
	累积贡献率	45.495	63.376	73.697	82.315	89.657	93.682
J11	衣分	-0.693	0.064	0.028	0.091	0.452	0.518
	铃重	0.269	0.527	-0.678	0.151	0.210	-0.126
	2.5%跨长	0.890	0.270	-0.098	0.068	0.092	0.092
	整齐度	0.685	0.297	0.233	-0.488	-0.051	0.044
	比强度	0.784	0.423	-0.116	-0.175	0.200	0.184
	伸长率	0.779	-0.460	0.265	0.042	0.038	0.055
	麦克隆值	-0.601	0.608	-0.152	-0.381	-0.090	-0.217
	株高	0.178	0.542	0.031	0.649	-0.422	0.171
	铃数	-0.350	0.623	0.406	-0.216	-0.191	0.256
	果枝数	-0.060	0.467	0.609	0.320	0.400	-0.379
	贡献率	35.545	21.041	11.574	10.229	6.834	6.169
	累积贡献率	35.545	56.587	68.160	78.390	85.223	91.392

2.5 辐射诱变后代 M_5 主要农艺经济性状的主成分

各主成分中的各项主因子在 3 个品种的 M_5 群体中具有较大差异(表 4)。Arcot-1 M_5 群体的 6 个主成分累积贡献率为 86.8%，第一主成分与纤维比强度和 2.5%跨长的相关性较高,可称为品质因子,第二主成分与铃数和果枝数及株高相

关,可称为产量因子,第 3~6 主成分可分别称为麦克隆值、伸长率、铃重和株高因子。Su9108 M_5 群体的 5 个主成分累积贡献率为 89.7%，第一主成分除受到铃数和果枝数的影响外,主要决定于衣分、麦克隆值和 2.5%跨长,其贡献率达到了 45.5%，第 2~5 主成分分别与铃重、伸长率、整齐度和比强度性状相关性较高。J11 的 M_5 群体的

5个主成分累积贡献率为85.2%，与第一主成分相关性高的性状有2.5%跨长、比强度和伸长率，均为纤维品质性状，其贡献率为35.5%，因此，第一主成分可称为品质因子，与第二主成分相关性高的性状是克隆值和铃数，与第三主成分相关性高的性状是果枝数和铃重，第二和第三主成分可称为产量因子，第四、五主成分则可分别称为株高和衣分因子。3个品种的 M_5 群体中，Su9108 M_5 群体第一主成分所占比例较大，且与产量和品质都有一定关系，所以，在Su9108 M_5 群体中更容易选择综合优良株系。

3 讨论

对不同植物、不同品种进行辐射，其诱变效果具有较大差异^[1,4,9]。因产量和经济性状主要是由微效基因所控制，微效基因的遗传属累加效应，诱变当代是很难被发现或检测；同时由于性状间存在着相关性，一种性状的变异有可能引起其它性状的变异，在 M_2 各性状间的遗传变异关系也较难进行分析。我们通过对不同诱变品种的多年选育，对其 M_5 群体的产量和经济性状的各性状间关系进行了研究，拟发现辐射诱变后代材料变异的方向性来指导辐射诱变育种。

在本研究中，辐射诱变后代 M_5 各个农艺经济性状的变异系数均存在明显差异，3个品种 M_5 群体的变异则以Su9108品种为最大，其次为J11品种、Arcot-1品种，说明对不同棉花品种进行辐射诱变，诱变后代材料群体的表型性状变异幅度具有较大的差异。在各个表型性状中，遗传变异较大的性状为果枝数、单铃重和克隆值，其中J11品种的伸长率和比强度与Su9108品种的衣分等性状的变异均分别大于另两个品种，说明对不同棉花品种进行辐射诱变，诱变后代材料的各个表型性状变异幅度具有较大的差异。且3个品种诱变后代材料的产量性状变异明显大于纤维品质性状的变异，这些与前人的研究结果一致^[5-6,10]。

相关性分析结果表明，诱变后代材料的各个表型性状间的相关性在3个品种中均不相同，Arcot-1诱变后代材料的衣分与比强度、单铃重与伸长率、2.5%跨长与比强度之间，Su9108诱变后代材料的衣分与单铃重、2.5%跨长和伸长率、衣分与克隆值和单株铃数和果枝数之间，J11诱变后代材料的衣分与2.5%跨长和比强度、

2.5%跨长与克隆值和比强度和整齐度之间均存在某种显著或极显著相关性；说明在Su9108和J11的 M_5 群体中，就容易选择到纤维品质的主要指标协调较好的优质株系，Arcot-1的 M_5 群体中则难选择到优质株系。证明了辐射诱变能使各性状产生某种相关的变异，且不同品种各性状也将产生不同的相关性，这与辐射诱变的 M_2 的研究其相关性的结果一致^[11-12]。这也为利用辐射育种对某个品种的特性状进行改造提供了理论依据。

参考文献：

- [1] 徐冠仁. 植物诱变育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996, 1-18, 294-303.
- [2] 翟学军, 李俊兰, 李之树. 棉花辐射效应的研究 I. M_1 主要农艺及经济性状的变异[J]. 核农学通报, 1994, 15(1): 12-15.
- [3] 朱乾浩, 俞碧霞, 季道藩. $^{137}\text{Cs}\gamma$ 射线对陆地棉花粉及其 M_1 的辐射效应[J]. 核农学报, 1998, 12(20): 71-77.
- [4] 朱乾浩, 季道藩. 棉花辐射诱变育种研究进展[J]. 棉花学报, 1997, 9(3): 113-119.
- [5] 翟学军, 王凤印, 李俊兰, 等. 棉花辐射效应研究 II. M_2 主要经济性状的变异[J]. 棉花学报, 1995, 7(2): 82-85.
- [6] 李煦远, 潘兴宏, 李定国, 等. 陆地棉 γ_2 代主要经济性状变异研究[J]. 湖北农学院学报, 1997, 17(2): 81-87.
- [7] 苏学合, 朱斗北, 王增贵. 辐照埃及棉选育陆地棉性状的长绒棉突变体的研究[J]. 核农学报, 1994, 8(1): 1-6.
- [8] Osbrne T S, Lunder A O. Seed radiosensitivity: a new constant[J]. Science, 1964, 145: 710-711.
- [9] 郑冬官, 方其英, 黄德祥, 等. 离子注入在棉花育种中的诱变功效[J]. 安徽农业大学学报, 1994, 21(3): 315-317.
- [10] 王国印, 翟学军, 耿军义, 等. 陆地棉辐射遗传变异选择效果研究[J]. 华北农学报, 2003, 18(院庆专辑): 73-75.
- [11] 李煦远, 李定国, 汤谷香. 棉花 γ_2 代性状间的相关性研究 I—棉花 γ_2 代主要经济性状间的相关分析[J]. 湖北农学院学报, 1998, 18(1): 4-7.
- [12] 李煦远, 李定国, 汤谷香. 棉花 γ_2 代性状间的相关性研究 II—棉花 γ_2 代主要经济性状与农艺性状间的相关分析[J]. 湖北农学院学报, 1998, 18(4): 289-294.