

不同基因型花生 EMS 诱变条件分析及突变系筛选

杨富军¹, 王绍伦^{1*}, 高华援^{1*}, 刘海龙¹, 周玉萍¹, 李春洁², 朱统国¹, 孙晓革¹, 李晓伟¹

(1. 吉林省农业科学院花生研究所, 吉林公主岭 136100; 2. 吉林省公主岭市农机局, 吉林公主岭 136100)

摘要 为明确不同基因型花生最佳甲基硫酸乙酯(EMS)诱变条件,以“四粒红”和“白沙1016”花生品种为材料,在0.30%、0.90% EMS 溶液中浸泡3、5、7和9 h,进行发芽试验。结果表明:以致死量达到50%为标准,多粒型花生的最佳处理条件是0.90% EMS 溶液诱变7 h,珍珠豆型花生则为0.90% EMS 溶液诱变9 h,多粒型花生对 EMS 响应明显。在 M₃、M₄ 代突变系中,多粒型筛选出 YD₃₅、YD₃ 和 YD₂₂ 3 个高产株系,最高增产 565 kg/hm²,珍珠豆型筛选出 YZ₄、YZ₂ 和 YZ₁ 3 个高产株系,最高增产 570 kg/hm²。

关键词 花生;多粒型;珍珠豆型;EMS 诱变;突变系

中图分类号 S565.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)33-11778-04

Analyzing EMS Mutagenesis Conditions of Different Genotypes Peanut and Screening of Mutant Lines

YANG Fu-jun¹, WANG Shao-lun^{1*}, GAO Hua-yuan^{1*} et al (Peanut Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Science, Gongzhuling, Jilin 136100)

Abstract In order to clarify the best EMS mutagenesis conditions of different peanut genotypes, with ‘Silihong’ and ‘Baisha1016’ as materials, the germination experiments were conducted at 0.30%, 0.90% EMS solution soaking for 3, 5, 7 and 9 h. Lethal to 50% of the standard, the results showed that the optimum treatment conditions of multi-grain type peanut is soaking into 0.90% EMS solution for 7 hours, and the vulgaris type peanut need soaking into 0.90% EMS solution for 9 hours. Multi-grain type peanut was significantly response for EMS. In the M₃ and M₄ generations mutant lines, multi-grain type peanut had selected three high-yield strains, YD₃₅, YD₃ and YD₂₂, and the highest incremental was 565 kg/hm² in yield. Vulgaris type peanut also had screened three high-yield strains, YZ₄, YZ₂ and YZ₁, and the highest incremental was 570 kg/hm² in yield.

Key words Peanut; Multi-grain type; Vulgaris type; EMS mutagenesis; Mutant lines

化学诱变育种方法是一种专一性强、周期短、改良效果明显的新型育种方法,采用化学诱变剂人为诱导作物发生突变,产生自然界原来没有的或一般常规方法难以获得的新类型、新性状、新基因,再通过突变体的多世代筛选和鉴定直接或间接地培育出生产上可以利用的作物新品种^[1-4]。在众多的化学诱变剂中,EMS 被认为是应用最好的诱变剂,目前已被广泛应用于农作物诱变育种,现已育成2 250个品种,主要有水稻、小麦、大麦和大豆等^[3,5-8]。

1985年美国的 Sivaram 等用不同浓度的 EMS 处理花生种子,比较其诱变效果,获得了 M₃ 高产突变系^[9-10]。朱保葛等研究了 EMS 诱变时间对不同花生品种诱变效应的影响,发现各处理花生后代性状的变异频率和突变系选育效果差异显著^[11];EMS 处理后花生荚果大小发生明显改变,籽仁品质也发生变化,蛋白质和油脂含量分别提高3~5个百分点^[9]。前人利用 EMS 化学诱变技术已育成较多花生新品种^[9,10-13],但针对不同基因型花生 EMS 最佳诱变条件的选择以及突变系选育效果的研究尚未见报道。为此,笔者设置不同 EMS 浓度和诱变时间组合,浸泡多粒型和珍珠豆型花生种子,通过发芽试验明确了2种基因型花生的最佳诱变条件,并利用变异株系多世代繁育筛选出了高产、优质综合性状优良的突变株系,旨在为吉林省花生诱变育种奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料 供试的花生品种为多粒型花生品种扶余四粒红、珍珠豆型花生品种白沙1016,均为吉林省主栽花生地方品种。诱变剂是 EMS,由美国 Sigma 公司生产。

1.2 试验方法 试验于2010~2013年在吉林省农业科学院花生研究所实验室、试验田进行。

1.2.1 EMS 诱变发芽率试验。 试验设有3个因素:因素1为供试基因型花生品种(P),即 P₁多粒型(四粒红)、P₂珍珠豆型(白沙1016);因素2为浓度(N),设2个浓度,即0.30%、0.90%,以 N₁、N₂ 表示;因素3为诱变时间(H),设诱变3、5、7、9 h 4个水平,分别用 H₁、H₂、H₃、H₄ 表示。试验共设16个处理,3次重复。2010年5月14日,每个品种亲本材料挑选2 400粒种子,以100粒为单位分成24袋,2个亲本共48袋,按处理要求浸泡在 EMS 处理液中。5月15日播种,将处理好的 M₁ 代种子在田间按小区种植,每个小区4垄,小垄单行种植,小区长3.5 m,垄宽0.6 m,小区面积8.4 m²,各处理穴距14.8 cm,每穴1粒。试验采用3因素完全随机区组试验设计,3次重复。田间管理按高产田进行,调查出苗率、植株生长状况以及植株变异类型,收获时,每个处理均按突变类型收获变异单株。

1.2.2 诱变株系多世代筛选试验。 2011~2013年,将 M₂~M₄ 代按株系单粒播种成行,每个基因型花生设置3组亲本对照。进一步调查变异株系生长情况,选择典型变异植株,并按株系收获,统计 M₂ 代各处理全区收获率、植株突变类型及突变频率;筛选 M₃ 代典型高产突变株系收获、考种;调查 M₄ 代农艺和产量性状,并进行籽仁品质测定。

1.3 数据处理 采用 DPS 数据处理软件对数据进行完全

基金项目 国家花生产业技术体系项目(CARS-14);吉林省科技发展计划项目(20120210);吉林省自然科学基金项目(201215195)。

作者简介 杨富军(1986-),男,山东泰安人,研究实习员,硕士,从事花生栽培生理生态研究。*共同通讯作者,王绍伦,副研究员,从事花生高产栽培理论研究;高华援,研究员,硕士,从事花生育种研究。

收稿日期 2014-10-30

随机单因素统计, Duncan's 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 EMS 浓度和诱变时间对 2 种基因型花生发芽率的影响

诱变剂 EMS 浓度对 2 种基因型花生发芽率影响显著(表 1), 诱变时间一定, 发芽率随 EMS 浓度升高而锐减。诱变时间为 H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 时, 浓度由 N_1 提升到 N_2 时, P_1 发芽率分别降低 20、20、21、30 个百分点; P_2 发芽率则分别降低 15、15、17、24 个百分点。EMS 诱变时间相同、浓度升高时, P_1 发芽率下降幅度明显大于 P_2 , 说明高 EMS 浓度对 P_1 种子萌发损伤较大。

诱变剂 EMS 浓度相同时, 2 种基因型花生发芽率均随诱变时间的延长而逐渐降低。当浓度为 N_1 时, 诱变 3 h 的 P_1 发芽率为 88%, 诱变 9 h 降至 69%, 降幅达 19 个百分点; P_1 发芽率则由 90% 降至 72%, 降幅达 18 个百分点; 浓度为 N_2 时, 2 种基因型花生的降幅分别为 29 和 27 个百分点。在高浓度 EMS 条件下, 诱变时间越长对花生发芽率影响越显著, 低浓度时则影响相对较小。

表 1 不同 EMS 处理的 2 种基因型花生发芽率(2010 年) %

基因型	浓度 %	诱变时间//h			
		3(H_1)	5(H_2)	7(H_3)	9(H_4)
多粒型(P_1)	0.30(N_1)	88	80	74	69
	0.90(N_2)	68	60	53	39
珍珠豆型(P_2)	0.30(N_1)	90	83	77	72
	0.90(N_2)	75	68	60	48

2.2 2 种基因型花生对诱变剂 EMS 的响应

由图 1 可知, 在 N_1 浓度下, 2 种基因型花生均具备较高的发芽率, 基因型之间差异不明显; 在 N_2 浓度下, P_1 发芽率较 P_2 低 7~9 百分点, 其中在 N_2H_4 时差异达到最大。 P_1 在 N_2H_3 诱变条件下接近半致死剂量, P_2 则是在 N_2H_4 条件下。同时可以看出, P_1 对 EMS 诱变剂的响应程度高于 P_2 , 高浓度处理时响应更明显。

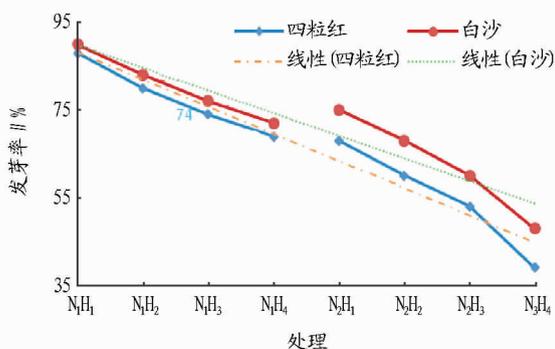


图 1 2 种基因型花生发芽率对比(2010 年)

2.3 2 种基因型花生 M_1 代和 M_2 代保苗率

EMS 浸泡处理的花生种子(M_1 代)按小区单粒播种, M_1 代出现出苗慢、苗弱、苗不齐, 植株徒长或矮化、丛生、缺绿, 成熟期差异明显, 部分植株甚至不能正常成熟等症。由表 2 可知, 各处理均严重缺株, P_1 保苗率为 18.3%~52.3%, P_2 为 21.7%~57.3%, P_1 总收获株数较 P_2 少 85 株, 仅有 838 株。另外, 低

浓度收获株数约占总收获株数的 60%。

不同处理 M_1 代结果数的差异直接影响 M_2 代播种粒数。各处理 M_2 种子按株系单粒播种, 播种粒数及收获株数见表 2。2 种基因型花生 M_2 代植株的收获率较 M_1 代均显著提高, P_1 保苗率上升至 68.7%~72.7%, P_2 上升至 69.8%~73.4%; 高浓度 EMS 诱变 M_2 代的保苗率较 M_1 代增幅达 30.2~53.2 个百分点。

表 2 2 种基因型花生 M_1 代和 M_2 代收获株数及保苗率(2010、2011 年)

基因型	处理	M_1			M_2			
		播种粒数//粒	收获株数//株	保苗率//%	播种粒数//粒	收获株数//株	保苗率//%	
多粒型(P_1)	N_1H_1	300	157	52.3	610	431	70.7	
	N_1H_2	300	134	44.7	516	375	72.7	
	N_1H_3	300	112	37.3	470	324	68.9	
	N_1H_4	300	92	30.7	448	310	69.2	
	N_2H_1	300	118	39.3	423	298	70.4	
	N_2H_2	300	95	31.7	351	241	68.7	
	N_2H_3	300	75	25.0	341	240	70.4	
	N_2H_4	300	55	18.3	302	216	71.5	
	珍珠	N_1H_1	300	172	57.3	617	440	71.3
	豆型(P_2)	N_1H_2	300	159	53.0	593	426	71.8
N_1H_3		300	133	44.3	516	362	70.2	
N_1H_4		300	101	33.7	458	321	70.1	
N_2H_1		300	119	39.7	494	345	69.8	
N_2H_2		300	95	31.7	412	291	70.6	
N_2H_3		300	79	26.3	334	245	73.4	
N_2H_4		300	65	21.7	315	223	70.8	

2.4 2 种基因型花生 M_2 代突变类型及突变频率

由表 3 可知, 在 EMS 化学诱变作用下, 2 种基因型花生 M_2 代群体中总变异株数差异不大, P_1 为 436 株, P_2 为 420 株; 突变类型集中表现为株高、熟期、分枝数和种皮颜色的变化, 而各类型突变频率则因品种基因型不同而大小各异。 P_1 的 M_2 代总突变频率为 17.9%, 各处理突变频率在 10.4%~28.4%; P_2 的 M_2 代总突变频率为 15.8%, 各处理突变频率在 9.2%~25.2%。 P_1 各处理 M_2 代群体中矮化型突变率是增高型的 1.50~6.00 倍, 总突变株数分别为 112 和 44 株; 早熟突变率是晚熟的 0.25~3.00 倍, 总突变株数分别为 84 和 80 株; 群体中分枝数增加有 68 株, 分枝数减少有 12 株; 种皮变色的有 36 株。 P_2 各处理 M_2 代群体中矮化型突变率是增高型的 1.50~7.00 倍, 总突变株数分别为 148 和 56 株; 早熟突变率是晚熟的 0.20~2.00 倍, 总突变株数分别为 32 和 72 株; 分枝增加有 84 株, 减少有 28 株。总体来看, 突变频率较高的类型主要是植株矮化、晚熟和分枝增加。

2.5 2 种基因型花生 M_3 代收获株系及种子数

由表 4 可知, P_1 收获株系 45 个, 后代种子总计 1 055 粒, 其中株系 YD_{35} 、 YD_3 和 YD_{22} 的种子数最多, 分别有 69、57 和 50 粒, 其余株系收获种子数分布区间集中在 11~20 和 21~30 粒; P_2 收获株系 46 个, 后代种子数总计 1 087 粒, 其中株系 YZ_4 、 YZ_2 和 YZ_1 的种子数较多, 分别有 45、44 和 38 粒, 另各有 16 个株系收获的种子数在 11~20 和 21~30 粒范围内。

表3 不同处理组合花生 M₂ 代性状突变类型及频率(2011年)

基因型	处理	调查株数 株	突变株数 株	突变频率 %	主要突变类型株数//株						
					植株增高	植株矮化	早熟突变	晚熟突变	分枝增加	分枝减少	种皮变色
多粒型(P ₁)	N ₁ H ₁	431	44	10.4	4	12	4	16	4	0	4
	N ₁ H ₂	375	46	12.3	8	12	4	12	0	4	6
	N ₁ H ₃	324	44	13.6	4	12	12	8	4	0	4
	N ₁ H ₄	310	56	18.0	8	20	4	8	12	0	4
	N ₂ H ₁	298	66	22.1	8	16	12	20	8	0	2
	N ₂ H ₂	241	52	21.6	4	8	12	4	12	8	4
	N ₂ H ₃	240	68	28.4	4	8	24	12	16	0	4
	N ₂ H ₄	216	60	27.6	4	24	12	0	12	0	8
珍珠豆型(P ₂)	N ₁ H ₁	440	40	9.2	8	12	8	4	4	4	0
	N ₁ H ₂	426	48	11.2	8	16	8	4	12	0	0
	N ₁ H ₃	362	40	11.2	4	12	4	4	16	0	0
	N ₁ H ₄	321	52	16.0	4	16	4	4	12	12	0
	N ₂ H ₁	345	68	19.6	4	28	0	16	12	8	0
	N ₂ H ₂	291	60	20.8	8	20	4	20	8	0	0
	N ₂ H ₃	245	56	22.8	16	24	4	4	8	0	0
	N ₂ H ₄	223	56	25.2	4	20	0	16	12	4	0

表4 2种基因型花生 M₃ 代收获株系及种子数(2012年)

基因型	株系 编号	种子 数	株系 编号	种子 数	株系 编号	种子 数	株系 编号	种子 数
	YD ₂	22	YD ₁₄	11	YD ₂₆	26	YD ₃₈	18
	YD ₃	57	YD ₁₅	40	YD ₂₇	27	YD ₃₉	13
	YD ₄	16	YD ₁₆	22	YD ₂₈	12	YD ₄₀	21
	YD ₅	31	YD ₁₇	23	YD ₂₉	27	YD ₄₁	21
	YD ₆	18	YD ₁₈	39	YD ₃₀	10	YD ₄₂	17
	YD ₇	18	YD ₁₉	24	YD ₃₁	16	YD ₄₃	24
	YD ₈	23	YD ₂₀	21	YD ₃₂	32	YD ₄₄	11
	YD ₉	20	YD ₂₁	5	YD ₃₃	19	YD ₄₅	17
	YD ₁₀	8	YD ₂₂	50	YD ₃₄	18		
	YD ₁₁	27	YD ₂₃	11	YD ₃₅	69		
	YD ₁₂	26	YD ₂₄	23	YD ₃₆	18		
珍珠 豆型 (P ₂)	YZ ₁	38	YZ ₁₃	21	YZ ₂₅	17	YZ ₃₇	26
	YZ ₂	44	YZ ₁₄	10	YZ ₂₆	24	YZ ₃₈	6
	YZ ₃	32	YZ ₁₅	23	YZ ₂₇	27	YZ ₃₉	23
	YZ ₄	45	YZ ₁₆	23	YZ ₂₈	20	YZ ₄₀	29
	YZ ₅	19	YZ ₁₇	12	YZ ₂₉	17	YZ ₄₁	22
	YZ ₆	14	YZ ₁₈	24	YZ ₃₀	18	YZ ₄₂	28
	YZ ₇	35	YZ ₁₉	20	YZ ₃₁	24	YZ ₄₃	8
	YZ ₈	18	YZ ₂₀	19	YZ ₃₂	31	YZ ₄₄	30
	YZ ₉	22	YZ ₂₁	30	YZ ₃₃	14	YZ ₄₅	16
	YZ ₁₀	33	YZ ₂₂	34	YZ ₃₄	32	YZ ₄₆	16
	YZ ₁₁	18	YZ ₂₃	35	YZ ₃₅	17		
	YZ ₁₂	14	YZ ₂₄	27	YZ ₃₆	32		

2.6 M₄ 代高产株系花生农艺和产量性状的表现 由表5可知,2种基因型花生诱变 M₄ 代高产株系与亲本在农艺、产量性状上的差异因基因型不同而不同。在 P₁ 诱变 M₄ 代中, YD₂₂ 和 YD₃₅ 的株高明显降低,其中 YD₃₅ 降低 9.2 cm, YD₃₅ 的分枝数、单株结果数、果重、出仁率和产量较亲本均显著提高,较亲本增产 565 kg/hm², 达到极显著水平。在 P₂ 诱变 M₄ 代中,3 个高产株系株高较亲本矮,而与产量提升相关的分枝数、单株结果数和出仁率等指标有不同程度的提高,其中 YZ₂ 和 YZ₄ 增产效果极显著,分别较亲本增产 390 和 570 kg/hm²。

2.7 M₄ 代高产株系籽仁品质 由表6可知,2种基因型花生 M₄ 代高产株系籽仁内主要物质成分和油内脂肪酸组成与亲本相比均发生明显变化。在 P₁ 诱变 M₄ 代中, YD₃₅ 的含油量高于亲本,达到 50.33%; YD₂ 和 YD₂₂ 的含油量低于亲本,而含糖量则高于亲本,其中 YD₂ 含糖量达 4.04%; 3 个高产株系的蛋白质含量均低于亲本; YD₂₂ 和 YD₃₅ 的油酸/亚油酸略高于亲本。在 P₂ 诱变 M₄ 代中, YZ₂ 和 YZ₄ 的含油量高于亲本,分别为 50.15% 和 50.65%; YZ₁ 和 YZ₂ 的蛋白质含量高于亲本,分别达到 26.64% 和 26.71%; 3 个株系糖类含量都低于亲本; 变异株系 YZ₁ 和 YZ₄ 的油酸/亚油酸高于亲本,油脂品质得到改善。

3 讨论与结论

化学诱变育种作为丰富作物种质资源、选育新品种的重要手段之一^[12-15]。在诱变育种时,确定适宜的诱变剂浓度和诱变时间难度较大,浓度过大或是诱变时间过长对试验种子的毒害越大,其 M₁ 代发芽率降低;浓度过低或是诱变时间过短,诱变效果差,突变概率降低。该研究表明,不同基因型花生对 EMS 诱变的响应存在显著差异,产生变异的类型和变异频率亦各不相同。多粒型花生的最佳处理条件是 0.90% EMS 溶液诱变 7 h,珍珠豆型花生则为 0.90% EMS 溶液诱变 9 h。因此,珍珠豆型花生达到半致死效应时,较多粒型花生所需诱变时间更长;且在不同诱变条件下,珍珠豆型花生 M₁ 代的发芽率均高于多粒型花生。在诱变 M₂ 代中,2 种基因型花生发芽率均较 M₁ 代明显提高,基因型之间发芽率的高低差异也显著缩小;但植株徒长或矮化、生育期延长(晚熟)或缩短(早熟)、分枝数增加或减少及种皮变色等性状变异类型,由于基因型不同表现出不同变异频率,其中植株矮化和晚熟为主要变异表现类型。

2012 年,筛选出 M₃ 代株系 91 个,其中多粒型诱变株系 45 个,得到高产株系 3 个,最高产单株收获种子 69 粒;珍珠豆型诱变株系 46 个,得到高产株系 3 个,最高产单株收获种

表 5 M₄ 代高产株系与亲本在农艺、产量性状上的差异(2013 年)

基因型	世代	株高//cm	分枝数//个	生育期//d	产量//kg/hm ²	单株结果数//个	出仁率//%	千克果数//个
多粒型(P ₁)	亲本	47.7 aA	5.7 cB	117.7 bB	2 930 cC	11.4 cC	70.8 cB	462.0 aA
	YD ₂	45.6 aA	6.0 bcAB	126.7 aA	3 080 bcBC	12.2 cBC	71.6 bcB	453.7 aA
	YD ₂₂	39.8 bB	6.4 abAB	117.0 bB	3 240 bAB	12.9 bAB	72.2 bAB	431.0 bB
	YD ₃₅	38.5 bB	6.9 aA	123.7 aAB	3 495 aA	14.0 aA	73.7 aA	431.0 bB
珍珠豆型(P ₂)	亲本	38.1 aA	7.8 b	125.0 a	2 785 cB	12.6 b	76.7 bB	691.7 a
	YZ ₁	37.4 abA	8.1 ab	122.0 ab	2 820 cB	13.2 ab	77.8 bB	679.3 ab
	YZ ₂	35.7 bAB	8.3 ab	115.7 b	3 175 bA	13.1 ab	79.7 aA	673.0 b
	YZ ₄	35.7 cB	8.7 a	120.3 b	3 355 aA	13.9 a	79.6 aA	667.7 b

注:同一基因型同列后不同大、小写字母分别表示株系间在 0.01、0.05 水平差异显著。

表 6 M₄ 高产株系花生籽仁内主要物质成分和油内脂肪酸组成(2013 年)

基因型	株系编号	籽仁主要物质成分			油内脂肪酸组成			
		油	蛋白质	糖类	软脂酸	油酸	亚油酸	油酸/亚油酸
多粒型(P ₁)	亲本	49.42	27.86	3.26	10.99	40.79	36.76	1.11
	YD ₂	47.34	27.73	4.04	11.38	39.72	36.99	1.07
	YD ₂₂	48.74	26.79	3.68	11.01	42.19	36.28	1.16
	YD ₃₅	50.33	26.53	2.12	11.04	40.83	36.22	1.13
珍珠豆型(P ₂)	亲本	49.09	26.27	3.77	10.98	39.10	39.87	0.98
	YZ ₁	48.50	26.64	3.45	11.49	39.16	39.74	0.99
	YZ ₂	50.15	26.71	3.59	11.46	38.65	40.37	0.96
	YZ ₄	50.65	25.63	3.25	11.40	39.65	39.42	1.01

子 45 粒。该研究对 6 个高产株系 M₄ 代就农艺性状和籽仁品质等方面与亲本进行对比分析,发现该 6 个株系荚果产量之所以显著提高,究其原因是在变异株单株结果数增加、果重和出仁率明显提高;在籽仁品质方面,YD₃₅ 和 YZ₄ 的含油量、YZ₂ 的蛋白含量和 YD₂ 的糖类含量均较亲本得到提高;YD₂₂ 和 YZ₄ 脂肪酸中的油酸/亚油酸比得到提高,油脂稳定性和品质得到改善。

试验品种四粒红(多粒型)和白沙 1016(珍珠豆型)均是种植几十年以上的老品种,由于其适宜当地气候条件、品质独特,在花生贸易中占有重要地位,一直是吉林省主栽地方品种,但产量水平低,品种生产潜力有限。该研究针对这一情况进行一系列 EMS 化学诱变试验,初步确定了适宜的诱变条件,为吉林省花生诱变育种提供了理论依据;成功选育的 6 个高产株系在品质方面各有特点,适合筛选选用和食用花生

新品种,并为选育适宜北方高寒地带的油用型和食用型花生品种提供理论基础和技术支持,同时有助于突破北方高寒地带的花生种质资源基础狭窄和利用率低的情况,加速东北高纬度花生生产区种质资源创新。

参考文献

- [1] BIRD R, MCK M, NEUFFER G. Induced mutations in maize [M]//JANICK J. Plant Breeding Reviews (5). New York: Van Nostrand Reinhold, 1987: 139-180.
- [2] 马惠平, 赵永亮, 杨光宇. 诱变技术在作物育种中的应用[J]. 遗传, 1998, 20(6): 41-43.
- [3] 王元东, 赵久然, 郭景伦, 等. 诱变育种在创造玉米新种质中的应用[J]. 北京农业科学, 1999, 17(2): 12-16.
- [4] 柳学余. 农作物化学诱变育种[M]. 南京: 东南大学出版社, 1992.
- [5] 杜连恩, 魏玉昌, 可福存, 等. 大豆化学诱变育种及其规律的研究[J]. 华北农学报, 1989, 4(2): 39-43.
- [6] 赵永亮, 宋同明. 玉米化学诱变研究进展[J]. 河北农学报, 1996, 11(4): 24-28.
- [7] 许耀奎, 顾光伟, 郭信康. 作物诱变育种[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [8] 安学丽. 不同诱变剂与不同诱变方法对玉米诱变效应的研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2003.
- [9] 王传堂, 杨新道, 陈殿绪, 等. 化学诱变获得花生超大果和小果突变体[J]. 花生学报, 2002(4): 5-8.
- [10] 殷冬梅, 杨秋云, 杨海棠, 等. 花生突变体的 EMS 诱变及分子检测[J]. 中国农学通报, 2009, 25(5): 53-56.
- [11] 朱保葛, 路子显, 耿玉轩, 等. 烷化剂 EMS 诱发花生性状变异的效果及高产突变系的选育[J]. 中国农业科学, 1997, 30(6): 87-89.
- [12] 李尚霞, 万书波, 封海胜, 等. 花生品质及改良途径浅析[J]. 花生学报, 2003, 32(2): 29-32.
- [13] 吴兰荣, 李正超, 秋庆树. 我国花生诱变育种技术应用研究概况[J]. 核农学报, 2002, 16(5): 334-336.
- [14] 禹山林, 王传堂. 中国花生品种及其系谱[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2009.
- [15] 唐月异, 王传堂, 高华援, 等. 花生种子吸胀期间耐低温性及其与品质性状的相关研究[J]. 核农学报, 2011, 25(3): 436-442.

本刊提示 参考文献只列主要的、公开发表的文献,序号按文中出现先后编排。著录格式(含标点)如下:(1)期刊——作者(不超过 3 人者全部写出,超过者只写前 3 位,后加“等”)。文章题名[J]. 期刊名,年份,卷(期):起止页码。(2)图书——编著者. 书名[M]. 版次(第一版不写). 出版地:出版者,出版年:起止页码。(3)论文集——析出文献作者. 题名[C]//. 主编. 论文集名. 出版地:出版者,出版年:起止页码。