

慢照射与茎尖培养相结合筛选甘薯同质突变体^{*}

王玉萍¹ 刘庆昌^{1,*} 李爱贤¹ 翟红¹ 森下敏和² 洪重健¹

(¹中国农业大学植物遗传育种系, 北京, 100094; ²日本农业生物资源研究所放射线育种场, 日本茨城, 319-2293)

摘要 甘薯品种玉丰、高系 14 号和 Kandaba 在生育期内用⁶⁰Co γ 射线慢照射, 对照射后的材料进行茎尖组培, 通过体细胞胚胎发生途径再生出大量植株。将这些再生植株移栽到大田, 对辐照后代的形态特征和经济特性进行了调查和分析。结果表明, 辐照后代M_{IV1}和M_{IV2}在顶叶形、叶形、顶叶色、叶脉色、脉基色、薯形及薯肉色、产量、干物率、食味、Brix 等性状上发生了广泛的变异, 并且这些变异是稳定的, 获得了一批薯形、薯肉色、高产量、高干率和高Brix 的同质突变体。

关键词 甘薯; 慢照射; 茎尖培养; 同质突变体

中图分类号: S531 文献标识码: A

Production of Homogeneous Mutants through the Use of Chronic Radiation in Combining with Shoot Apex Culture in Sweet Potato

WANG Yu-Ping¹ LU Qing-Chang^{1,*} LI Aixin¹ ZHA Hong¹ Morishita Tosikazu²
HONG Chong-Jian¹

(¹Department of Plant Genetics and breeding, China Agricultural University, Beijing, 100094, China; ²Institute of Radiation Breeding, Japan National Institute of Agricultural Resources, Ibaraki, 319-2293, Japan)

Abstract Sweet potato cultivars Tamayutaka, Kokei No. 14 and Kandaba were planted in a gamma field. Shoot apices from the irradiated plants were cultured, and regenerated bits of plants via somatic embryogenesis. The regenerated plants were transplanted in a field. Variations of top leaf shape, leaf shape, top leaf color, leaf vein color, vein base color, root shape, root flesh color, root yield, dry matter content, taste after steaming, and root Brix were observed in progenies M_{IV1} and M_{IV2}. The results indicated these variations were stably inherited. And the homogeneous mutants of root shape, root flesh color, high dry matter content, excellent taste, high root yield, and high root Brix were obtained.

Key words Sweet potato; Chronic radiation; Shoot apex culture; Homogeneous mutants

甘薯 (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) 是一种重要的无性繁殖作物, 辐射诱变一直是甘薯品种改良的重要途径之一。自 1935 年 Miller^[1]首次用 X 射线辐照甘薯诱发突变以来, 至今已有 60 多年, 到目前为止都是用 γ 射线等来快照射甘薯材料, 获得的突变大多数是单基因 (或寡基因) 控制的质量性状突变, 如抗病性、薯皮色、薯肉色等。而有关产量、淀粉含量、糖含量等主要数量性状的突变报道较少。同时, 长期以来甘薯辐射育种一直局限于个体和器官水平, 辐照后代中嵌合体现象严重, 突变频率低,

降低了甘薯辐射育种效率。

1991 年 Nagatom i^[2]报道用 γ 射线慢照射甘蔗, 对数量性状的诱变效果显著高于快照射; 慢照射与茎尖培养相结合, 可以得到同质突变体。以后这一结论在其他植物上也得到了证实^[3]。

目前国内、外尚未见慢照射对甘薯诱变效果的报道。1990 年以来, 甘薯茎尖组织培养与植株再生技术日渐成熟^[4]。本研究就慢照射对甘薯的诱变效果, 以及通过茎尖组织培养筛选甘薯同质突变体进行了探讨。

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (39970451)

作者简介: 王玉萍, 女, 1972 年出生, 博士研究生 * 通讯作者 E-mail: liuqc @ public call edu cn

Received on (收稿日期): 2000-12-12, Accepted on (接受日期): 2001-04-02

1 材料和方法

1.1 植物材料

以甘薯品种玉丰、高系 14 号和 Kandaba 为试验材料, 玉丰和高系 14 号是日本重要的食用品种, 可溶性糖含量高, 食味好; Kandaba 是日本重要的蔬菜用品种(叶、茎尖)。这 3 个品种在我国均有一定的栽培面积。

1.2 慢照射

1997 年将上述 3 个品种种植于日本农业生物资源研究所放射线育种场⁶⁰Co γ 射线圃。采用高垄(40 cm 高)栽植, 以利于 γ 射线穿透垄土, 照射甘薯地下部。在其生育期进行慢照射, 每天辐射剂量分别为 0、0.5、1.25、2 Gy, 玉丰和高系 14 号照射 113.5 d, 累加剂量分别为 0、57、142、227 Gy; Kandaba 照射 50 d, 累加剂量分别为 0、25、62.5、100 Gy。用 0 Gy 处理的材料作为对照。

1.3 茎尖培养与植株再生

1997 年 10 月上旬, 收获经过 γ 射线慢照射材料及其对照的薯块。1998 年 3 月上旬, 将薯块移植到温室的花盆中。按照刘庆昌等^[4]和 Liu 等^[5]的方法剥取 3 个品种的茎尖组织, 培养在添加 2.0 mg/L 2,4-D 的 MS 培养基上, 诱导产生胚性愈伤组织和体细胞胚。将具有体细胞胚的胚性愈伤组织转移到添加 1.0 mg/L ABA 的 MS 培养基上, 使体细胞胚发育成熟并发芽形成小植株。小植株培养在 MS 基本培养基上, 以获得完整的再生植株。

1.4 再生植株的移栽和突变体的鉴定

1999 年 4 月初, 将茎尖离体培养获得的再生植株(M_{1V1})在室内炼苗, 然后移栽到温室的苗床上, 前期罩上塑料膜保温、保湿使其驯化。6 月初剪苗移栽于大田中, 10 月上旬收获。对 M_{1V1} 的地上部及地下部变异进行观察、鉴定, 以筛选各种变异体(M_{1V1})。将获得的各种变异体的薯块于 2000 年 4 月初种植在温室的花盆中, 6 月初剪苗(M_{1V2})移栽到大田中, 10 月上旬收获。对 M_{1V2} 的地上部和地下部性状进行观察和分析, 以鉴定其遗传稳定性, 并筛选出优良突变体。地上部及地下部性状的评价标准依据《中国甘薯品种志》。用称量法测定每个小区的产量; 用烘干法测定干物率, 根据肉质、甜度、面度、纤维含量等项目综合评价蒸熟后的食味; 用 Brix 数字测定仪测定固形物含量, 方法如下: 每个材料随机取 1 个块根用自来水冲洗干净, 去皮后切

成 10 mm × 10 mm × 10 mm 小块, 充分混合; 每个块根精确称取 20 g 样品置于带盖玻璃瓶中, 在 100 °C 下蒸 40 min, 然后将样品转入食物搅拌机中, 加入 100 mL 蒸馏水, 搅拌 30 s, 用 Brix 测定仪测定混合物上清液的 Brix。统计辐照后代突变体的类型和数目, 根据突变体数与调查总个体数计算出突变频率。

1.5 试验设计和数据分析

每个处理及对照重复 3 次, 采用随机区组排列。根据单因素方差分析, 分别对鲜薯产量和 Brix 进行统计分析和差异显著性检验, 对与对照有显著差异的材料进行多重比较: 包括不同处理间与对照的比较和同一处理不同无性系与对照的比较。采用周松茂^[6]所介绍的临界值法对干物率进行统计分析。

2 结果和分析

2.1 茎尖培养与植株再生

将辐照材料及对照的茎尖组织培养在添加 2,4-D 的 MS 培养基上, 诱导产生胚性愈伤组织, 并进一步形成体细胞胚(图 1)。将具有体细胞胚的胚性愈伤组织转移到添加 ABA 的 MS 培养基上, 体细胞胚发育成熟, 并发芽形成小植株(图 2)。将再生的小植株进一步培养在 MS 基本培养基上, 获得了完整的再生植株。3 个品种的植株再生结果列于表 1。通过体细胞胚胎发生途径, 由茎尖组织培养获得再生植株是产生同质突变体的前提, 因为大量研究表明体细胞胚一般是单细胞起源的^[7]。

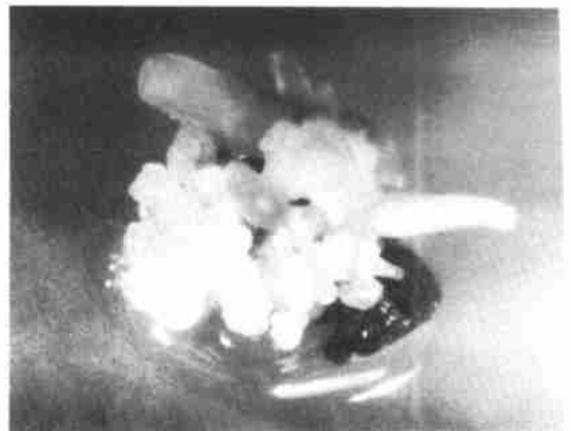


图 1 在添加 2.0 mg/L 2,4-D 的 MS 培养基上品种玉丰形成的体细胞胚

Fig. 1 Somatic embryos formed from cv. Tamayutaka on MS medium with 2.0 mg/L 2,4-D



图2 在添加 1.0 mg/L ABA 的 MS 培养基上由品种玉丰的体细胞胚形成的小植株

Fig 2 Plantlets formed from somatic embryos of cv. Tamayutaka on MS medium with 1.0 mg/L ABA

2.2 地上部形态特征的突变

于封垄期对辐照后代 M₁V₁ 和 M₁V₂ 地上部性状进行调查和分析。将表现稳定遗传的突变列于表 2 中。由表 2 可见, 不同剂量的慢照射对不同品种

以及同一品种的不同性状具有不同的诱变效果, 对照中则未发现相应的变异。研究表明, 所有突变体均是同质突变体, 未发现嵌合体现象。

表 1 高系 14 号、玉丰及 Kandaba 辐照后代的茎尖胚性愈伤组织的植株再生

Table 1 Regeneration of plants from embryonic calli derived from shoot apices of the irradiated Kokei No. 14, Tamayutaka and Kandaba

品种 Cultivar	累加剂量 Accumulated Dose (Gy)	茎尖数 No. of shoot apices cultured	胚性愈伤 Embryogenic callus		再生植株的胚性愈伤 Embryogenic callus forming plants	
			No.	%	No.	%
高系 14 号 Kokei No. 14	0	18	13	72.2	13	72.2
	227	26	10	38.5	10	38.5
	142	18	8	44.4	3	16.7
	57	48	5	10.4	5	10.4
玉丰 Tamayutaka	0	20	15	75.0	15	75.0
	227	48	13	27.1	12	25.0
	142	50	9	18.0	9	18.0
	57	48	9	18.8	9	18.8
Kandaba	0	22	14	63.6	14	63.6
	100	39	16	41.0	16	41.0
	62.5	23	7	30.4	5	21.7
	25.0	37	10	27.0	10	27.0

表 2 辐照后代 M₁V₂ 的地上部性状突变频率

Table 2 Mutation frequencies of vine characters in the irradiated progeny M₁V₂ of sweet potato

品种 Cultivar	累加剂量 Accumulated dose (Gy)	调查无性系数 No. of clones investigated	顶叶形 Top leaf shape		叶形 Leaf shape		叶脉色 Leaf vein color		脉基色 Vein base color	
			No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
玉丰 Tamayutaka	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0
	227	192	9	4.7	21	10.9	3	1.6	36	18.75
	142	156	5	3.2	6	3.8	5	3.2	37	23.7
	57	132	7	5.3	8	6.1	22	16.7	33	25.0
高系 14 号 Kokei No. 14	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
	227	136	0	0	0	0	0	0	0	0
	142	127	0	0	0	0	0	0	0	0
	57	132	0	0	0	0	0	0	0	0
Kandaba	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0
	227	46	8	17.4	10	21.7	0	0	0	0
	142	30	10	33.3	10	33.3	0	0	0	0
	57	34	8	23.5	8	23.5	0	0	0	0

2.2.1 顶叶形 玉丰的正常顶叶形为心带齿形, 辐照后代中出现了 12 个心形、8 个齿形和 1 个心齿形突变。Kandaba 的正常顶叶形为深裂单缺刻, 辐照后代中出现了浅裂单缺刻等突变。高系 14 号的顶叶形未发生变异。

2.2.2 叶形 在玉丰的辐照后代中, 除了正常的浅裂单缺刻叶形外, 出现了丰富的突变类型, 包括 10 个心形、8 个心带齿形、2 个尖心齿形、10 个尖心带齿形(图 3)。所有叶形突变均无嵌合现象。Kandaba 的正常叶形为深裂单缺刻, 辐照后代中出

现了浅裂单缺刻等突变(图 4); 这种叶形增加了美观度, 更加具有蔬菜用品种的特点。高系 14 号的叶形未发生突变, 说明这一品种的叶形是非常稳定的。

2.2.3 脉基色 玉丰的正常脉基色为淡紫色, 在玉丰的辐照后代中出现了大量的褐色突变, 说明玉丰的脉基色对 γ 射线慢照射非常敏感。高系 14 号和 Kandaba 的脉基色未发现明显的变异。

2.2.4 叶脉色 玉丰的正常叶脉色为绿色, 在其辐照后代中发现了紫色的突变。高系 14 号和

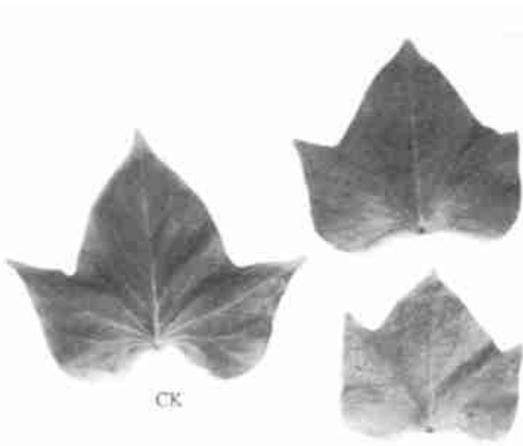


图3 玉丰辐照后代M₁V₂的叶形突变

Fig 3 Mutations of leaf shape in the irradiated progeny M₁V₂ of cv. Tamayutaka



图4 Kandaba 辐照后代M₁V₂的叶形突变

Fig 4 Mutations of leaf shape in the irradiated progeny M₁V₂ of cv. Kandaba

Kandaba 的叶脉色均为正常, 未发现变异。

2 3 地下部形态特征的突变

于收获期对薯皮色、薯形和薯肉色等地下部性状进行调查, 获得了一批同质突变体, 也未发现嵌合体现象。

2 3 1 薯皮色 正常的玉丰薯皮色为白色, 在其辐照后代中没有发现变异。在所有调查的高系 14 号中也都是正常的红色, 未发现变异。

2 3 2 薯形 玉丰的正常薯形为长椭圆形, 辐照后代中未发现变异。高系 14 号的正常薯形为长圆筒形, 辐照后代中出现圆椭圆形和长椭圆形的突变, 其薯肉色均由正常的淡黄色突变为橘红色(图 5), 表明薯形和薯肉色的突变存在一定的相关性。

这 2 个薯形突变体的产量明显高于对照。

2 3 3 薯肉色 玉丰的正常薯肉色为白色, 辐照后代中未出现其他颜色的变异。高系 14 号正常薯肉色为淡黄色, 辐照后代中出现了 2 个薯肉色为橘红色的突变体, 其薯形也发生了如上所述的突变(图 6)。橘红色突变对于提高甘薯块根的胡萝卜素含量及改变食味具有重要作用, 对于食用甘薯品种高系 14 号来说, 橘红肉色突变是理想的。

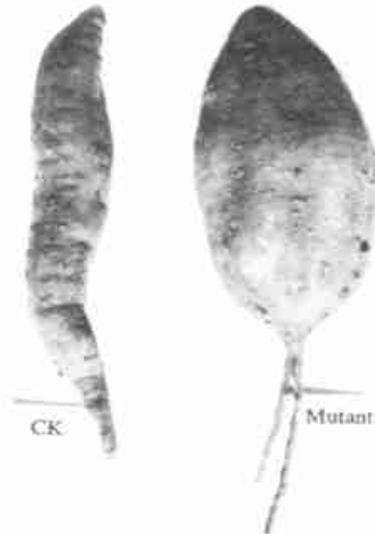


图5 高系 14 号辐照后代M₁V₂的薯形突变

Fig 5 Mutation of root shape in the irradiated progeny M₁V₂ of cv. KokeiNo. 14

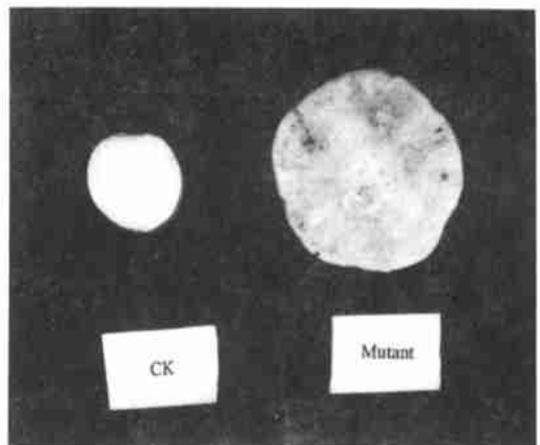


图6 高系 14 号辐照后代M₁V₂的薯肉色突变

Fig 6 Mutation of root flesh color in the irradiated progeny M₁V₂ of cv. KokeiNo. 14

2 4 主要经济性状的突变

2 4 1 鲜薯产量 玉丰的辐照后代及对照于收获期分小区测产, 对测定结果进行方差分析。结果

表明, 3个不同处理与对照之间无显著差异。将辐照后代的各个无性系与对照进行方差分析和多重比较, 结果从227 Gy处理的54个无性系中筛选出1个高产量的突变体, 占1.85%, 产量比对照提高35.4%, 达显著水平($\alpha=0.05$)。因此, 慢照射对甘薯产量有明显的诱变效果。

2.4.2 食味 对玉丰的辐照后代进行了食味综合评价, 包括薯块的肉质、甜度、面度、纤维含量

等4个方面。慢照射对甘薯的肉质、甜度、面度、以及纤维含量均具有明显的诱变效果, 后代中发生了广泛的变异, 对纤维含量、面度的诱变效果尤为明显(表3)。由表3可以看出, 玉丰的辐照后代中出现了50%以上的纤维含量低的突变体, 这种突变对食味的改善十分有利。经过筛选得到9个食味比对照明显优的突变体, 此外还有8个食味比对照明显差的突变体。

表3 玉丰辐照后代M₁V₂的食味突变

Table 3 Mutations of taste after steaming in the irradiated progeny M₁V₂ of cv. Tamayutaka

累加剂量(Gy) Accumulated dose		0(CK)	227	142	57
调查无性系数 No. of clones Investigated		43	88	76	43
肉质 Flesh texture	优 Excellent	0	23(26.1 ^a)	24(31.6)	17(39.5)
	中 Medium	43(100)	44(50.0)	26(34.2)	20(46.5)
	差 Poor	0	21(23.9)	26(34.2)	6(14.0)
甜度 Sweet degree	高 High	0	24(27.3)	15(19.7)	18(41.9)
	中 Medium	43(100)	57(64.8)	56(73.7)	19(44.2)
	低 Low	0	7(8.0)	5(6.6)	6(14.0)
面度 Powdery degree	高 High	0	19(21.6)	36(47.4)	12(27.9)
	中 Medium	43(100)	45(51.1)	32(42.1)	30(69.8)
	低 Low	0	24(27.3)	8(10.5)	1(2.3)
纤维含量 Fiber content	高 High	0	9(10.2)	0	3(7.0)
	中 Medium	43(100)	24(27.3)	21(27.6)	5(11.6)
	低 Low	0	55(62.5)	55(72.4)	35(81.4)
食味 Taste after steaming	优 Excellent	0	3(3.4)	3(7.0)	3(7.0)
	中 Medium	43(100)	81(92.0)	70(92.1)	39(90.7)
	差 Poor	0	4(4.5)	3(3.9)	1(2.3)

^a 百分数 Percentage

2.4.3 干物率 对玉丰和高系14号辐照后代的干物率进行测定, 并根据周松茂^[6]所介绍的临界值法对测定结果进行了统计分析。公式如下: $\bar{X} \pm \mu \{(N+1)F/N\}^{1/2}$, 式中 \bar{X} : 总样本平均值; μ : 总体标准差; N: 总样本数; F: $n_1=1, n_2=N-1$ 时的 F_{α} 值。取显著水平 $\alpha=0.05$, 计算出干物率突变值范围: 玉丰为22.3%~25.9%, 高系14号为29.0%~33.1%, 在此范围之外视为突变(表4)。从表4中可以看出, 玉丰和高系14号2个品种对照的干物率变化范围均未超出各自突变值范围, 即其干物率没有发生突变。玉丰的辐照后代中57 Gy时的干物率变化范围低于其突变值范围, 即出现了低干物率突变(1个); 227 Gy和142 Gy时的干物率变化范围高于其突变值范围, 即出现了高干物率突变(2个)。高系14号的辐照后代中142 Gy时的干物率变化范围也高于其突变值范围, 即出现了高干物率突变, 其余2个处理区则未发生变异。根据临界值

从玉丰中筛选出了3个高干突变体, 其中与对照相比达极显著水平($\alpha=0.01$)的高干物率突变体(干物率高于29.3%)有1个; 从高系14号中筛选出1个高干物率突变体。这一结果表明 γ 射线慢照射能显著提高甘薯块根的干物率。

2.4.4 Brix 收获2周后对玉丰辐照后代的固形物含量(Brix)进行测定, 结果见表5。在玉丰的辐照后代中, 3个不同处理的Brix与对照都有显著差异。其中57Gy与对照有极显著差异, 其余2个处理与对照有显著差异。将辐照后代的各个无性系与对照作了方差分析及多重比较, 结果表明, 从中筛选出8个高Brix的突变体, 其中与对照相比达显著水平($\alpha=0.05$)的突变体有3个, Brix提高了7.1%~7.4%, 占调查无性系的9.4%; 达极显著水平($\alpha=0.01$)的突变体有5个, Brix提高了9.9%~12.2%, 占调查无性系的15.6%。同时还筛选出了2个低Brix的突变体。Yoshinaga和Yamakawa^[18]

表 4 玉丰和高系 14 号辐射后代M₁V₂的块根干物率突变Table 4 Mutations of dry matter content in the irradiated progenyM₁V₂ of cvs Tamayutaka and Kokei No 14

品种 Cultivar	累加剂量 Accumulated dose (Gy)	调查无性系数 No. of Investigated	平均值 Mean (%)	干物率变化范围 Range of dry matter content (%)	高干突变体 Mutant with high dry matter content		低干突变体 Mutant with low dry matter content	
					No.	%	No.	%
玉丰 Tamayutaka	0	13	24.4	22.5~25.2	0	0	0	0
	227	28	24.8	22.8~30.1	2	7.1	0	0
	142	26	24.7	22.7~26.4	1	3.8	0	0
	57	19	24.2	22.0~25.2	0	0	1	5.2
高系 14 号 Kokei No 14	0	12	31.2	30.2~32.9	0	0	0	0
	227	11	31.7	30.4~32.8	0	0	0	0
	142	16	31.9	30.0~33.4	1	6.3	0	0
	57	9	31.0	29.9~32.2	0	0	0	0

表 5 玉丰慢照射后代M₁V₂不同处理和对照相比
Brix 的差异显著性Table 5 Brix differences of different treatments in the irradiated
progenyM₁V₂ of cv. Tamayutaka in comparison with CK

剂量 Accumulated dose (Gy)	Brix 平均值 Brix mean	与对照的差异显著性 Significance of differences to CK
57	3.64	0.12**
142	3.6	0.08*
227	3.56	0.04*
0(CK)	3.52	

*, ** 分别表示显著水平达 $\alpha=0.05$ 和 0.01 。

*, **, * Stand for significant at $\alpha=0.05$ and 0.01 , respectively.

的研究表明, Brix 和可溶性糖含量之间存在着极显著的正相关, 相关系数高达 0.89 以上。因此, Brix 的提高意味着块根中可溶性糖含量的增加。本研究结果说明慢照射可显著提高甘薯块根中的可溶性糖含量。

3 讨论

本研究首次报道了 γ 射线慢照射对甘薯的诱变效果。同前人的 γ 射线快照射研究结果相比^[9-11], 地上部和地下部形态特征的突变频率无明显差异, 均较低。但是, 慢照射能显著改良食味、薯肉色(胡萝卜素含量)、干物率、可溶性糖含量等主要经济数量性状。因此认为, 慢照射用于甘薯辐射诱变, 可以扩大突变谱, 特别是对于主要经济性状有显著的诱变效果。

甘薯个体或器官水平辐射诱变的最突出问题是存在严重的嵌合体现象, 为获得稳定遗传的同质突变体, 至少需无性繁殖 1~2 代, 有的所需时间更长, 4~6 代都难以稳定下来, 这无疑延长了突变育种年限; 加上突变频率低, 大大降低了突变育种效率。本研究结果表明, 甘薯慢照射与茎尖培养相结合能够有效获得稳定遗传的同质突变体, 并且同快照射相比, 突变频率有所提高。因此, 慢照射可望成为甘薯

的一种有效辐射育种途径。

References

- [1] Miller J C. Further studies of mutations of the Port Rico sweet potato. *Proc Amer Soc H on Sci*, 1935, 33: 460~465
- [2] Nagatomi S. Enlargement of induced variations by combined method of chronic irradiations with callus culture in sugar cane. *Ganma Field Symposia*, 1991, 30: 87~110
- [3] Nagatomi S, Miyahira E, Degi K. Combined effects of gamma irradiation methods and in vitro explant sources on mutation induction of flower color in *Chrysanthemum morifolium* Ran. *Ganma Field Symposia*, 1996, 35: 51~69
- [4] Liu Q-C (刘庆昌), Lu D-H (鲁迪慧), Ma B (马彪), Zhou H-Y (周海鹰). Cell suspension cultures and efficient plant regeneration in sweet potato. *Journal of Agricultural Biotechnology* (农业生物技术学报), 1996, 4(3): 238~242
- [5] Liu Q C, Mi K X, Lu D H, Zhou H-Y, Fu Z. Establishment of embryonic cell suspension cultures in sweet potato, *Ipomoea batatas* (L.) Lam. *Acta Agronomica Sinica*, 1997, 23: 22~26
- [6] Zhou S-M (周松茂). Calculation of mutation frequencies in mutation breeding. *Application of Atomic Energy in Agriculture* (原子能农业应用), 1984, (4): 57~58
- [7] Xi Y-L (奚元龄), Yan C-J (颜昌敬). *Handbook of plant Cell Culture* (Beijing) (植物细胞培养手册), 1992, 50~54
- [8] Yoshinaga M, Yanakawa O. Relationship between water-soluble solids content and total sugar content at different steaming times in Sweetpotato roots. *Kyushu Agr. Res*, 1994, 56: 38
- [9] Kukimura I. Mutation breeding in sweet potato and tuber crops—a review. *Ganma Field Symposia*, 1986, 25: 109~130
- [10] Marumine S. Induction and use of artificial mutants in sweet potato. *Ganma Field Symposia*, 1982, 21: 69~82
- [11] Lu S-Y (陆淑韵), Wu C-G (武崇光), Feng Q-H (冯启涣), Li W-J (李惟基). Effect of ⁶⁰Co- γ irradiation on resistance to nematode *Ditylenchus Destructior* and other characters in sweet potato. *Acta Agricultural Universitatis Pekinensis* (北京农业大学学报), 1995, 21(4): 403~408