文章编号：1007－4627(2008)02－0187－04

马铃薯重离子辐射育种研究*

谢忠奎[1]，王亚军[1]，颉红梅[2]，郭志鸿[1]，卫增泉[2]
(1 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所，甘肃 兰州 730000；
2 中国科学院近代物理研究所，甘肃 兰州 730000)

摘　要：在 2000—2005 年将杂交技术和重离子辐射相结合，采用 55 MeV/u 的 $^{40}Ar^{17+}$ 离子对马铃薯杂交种子和微型薯进行了不同剂量的贯穿辐射或离子注入处理。结果表明，对马铃薯微型薯进行重离子辐射能显著提高块茎的产量。而杂交技术和重离子辐射相结合是一种更高效的育种方式，不仅能提高块茎的增产幅度，还能改善其加工品质。微型薯重离子辐射的最佳剂量为 60 Gy，杂交种子辐射的适宜剂量范围在 60—120 Gy 之间。通过对辐射后代的多年选育，获得了几个产量显著高于对照、品质优良的马铃薯新品系。

关 键 词：马铃薯；重离子辐射；产量；品质
中图分类号：S335　　**文献标识码**：A

1　引言

马铃薯是仅次于水稻、玉米、小麦的重要粮食作物，由于它高产稳产、适应性广、营养成分全和产业链长而受全球的高度重视。目前全世界有 140 多个国家种植马铃薯，面积达 2×10^8 hm^2，总产量约 3×10^9 t[1]。我国马铃薯种植面积为 4.9×10^6 hm^2，总产 7.1×10^7 t，平均单产 1.45×10^4 kg/hm^2，位居世界第 1 位[2]。

马铃薯为无性繁殖作物，所以易导致遗传变异消失。由于我国不是马铃薯的原产地，亲本材料遗传基础狭窄，基因库贫乏，特别是马铃薯又为同源四倍体作物，杂交育种遗传分离复杂，从而使马铃薯的品种选育长期处于低效率状态。然而，在诸多影响作物产量的因素中，品种是最为关键的因素。因此，开辟马铃薯育种的新途径，势在必行。辐射育种产生的变异范围大，变异类型受亲本限制较小，有可能创造自然界所没有的新类型。我国从 1958 年以来，利用辐射技术先后育成了一批水稻、小麦、大豆、花生、棉花、谷子、油菜、白菜等农作物新品种。在马铃薯育种上也采用 γ 射线进行了辐射效应研究[3]，但在实践上未见辐射新品种应用的报道。重离子辐射技术作为一种新的诱变技术已用于多种作物[4—6]，但对马铃薯的应用还未见报道。

2　材料与方法

本项研究将杂交育种与重离子辐射育种相结合，选用的辐射材料有杂交种子和微型薯。1999 年由甘肃省农科院粮食作物研究所进行育种亲本材料的选择和组配杂交组合，同年对得到的杂交种子和微型薯一部分进行重离子辐射，一部分直接选育，比较辐射育种的选育效果。辐射是在兰州重离子研究装置(HIRFL)TL2 终端上进行的，采用了能量为 55 MeV/u 的 $^{40}Ar^{17+}$ 离子进行贯穿辐射或离子注入，种子辐射剂量为 60 和 120 Gy。微型薯辐射剂量为 30，60，90 和 120 Gy。

2002 年对大面积种植的菜用型和加工型品种陇薯 3 号，大西洋和费乌瑞它进行了快中子辐射处理，辐射剂量为 38，50，75，113 和 150 Gy。

所有杂交和辐射材料均于 2000 年开始在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所皋兰生态与农业综合试验站(简称皋兰站)种植，以没有辐射的种陇薯 3 号、大西洋和费乌瑞它为对照，进行了杂交和辐射后代的选育。其中，2000 年和 2001 年没有进行选择，2002 年和 2003 年主要进行后代的结薯性、

* **收稿日期**：2008－03－12；**修改日期**：2008－03－17
* **基金项目**：中国科学院农业方向性资助项目(CASN-115-06-08)；科技部科技支撑项目(2006BAD26B0201)
作者简介：谢忠奎(1964－)，男(汉族)，甘肃甘谷人，博士，研究员，博导，从事农业生态研究；E-mail：wxhcas@lzb.ac.cn

薯形、薯块大小和产量的简单比较，2004 年和 2005 年对前两年选育出的高产株系进行了品比试验，每个株系三个重复，随机排列。选育指标是结薯集中、薯块大、薯形好和产量高；加工型品种还比较了还原糖含量。

对选育出的新品系在皋兰站的实验室进行了淀粉、干物质和还原糖含量等重要品质指标的分析。

3 结果与讨论

3.1 对产量的影响

4 年的选育结果表明，对微型薯或杂交种子进行重离子辐射处理的组合，其产量高于不辐射的组合或对照，产量居于前 7 位的都是重离子或快中子辐射的后代，这 7 个辐射后代的产量均显著高于对照，而只采用杂交方式选育的后代产量都较低。另外，对费乌瑞它微型薯进行辐射，其后代的产量显著高于没有辐射的同品种对照，增产 62.0%，说明重离子辐射确能增加变异率，提高产量(见表 1)。

2004 年和 2005 年的新复极差测验结果表明，用产量高的 178-10 和 119-11 亲本组合杂交的种子，采用离子注入辐射以后选育的品系产量最高，显著高于 3 个对照品种，但其薯形相对较差。产量居于第 2 位的是 L9401-8×远杂 7 号杂交辐射的后代，这个品系的产量高，薯形好。而用产量较低的大西洋做亲本杂交的种子，辐射后代的产量仍低于高产亲本组合，但薯形较好，说明亲本的产量和薯形仍然是影响后代表现的重要因素。虽然以大西洋做为亲本杂交和辐射后代的产量低于高产组合杂交辐射后代，但与未辐射的大西洋对照相比产量显著增加，费乌瑞它微型薯辐射后代的产量也显著高于未辐射的对照，说明重离子辐射对后代的产量也有较大影响。因此，在具体育种实践中，选用产量高、其它性状较好的亲本进行杂交，利用杂交种子进行重离子辐射，可以将杂交优势和辐射效应进行叠加，更容易选育出符合生产要求的高产品种。

对种子辐射的 2 个剂量中都选出了高产后代，说明马铃薯种子重离子辐射的适宜剂量在 60—120 Gy 之间，而微型薯辐射的最佳剂量为 60 Gy。

表 1 马铃薯杂交辐射后代的选育结果*

组合	离子剂量/Gy	离子类型	辐射材料	辐射方式	产量/(kg/666.7 m²)					位次
					2002	2003	2004	2005	平均	
费乌瑞它	60	重离子	微型薯	离子贯穿	3 827	3 036	2 828 b	2 528 b	3 055	4
L9401-8×远杂 7 号	120	重离子	种子	离子贯穿	3 786	5 369	3 030 b	2 593 b	3 695	2
大西洋×9401-3	120	重离子	种子	离子贯穿	2 963	3 518	2 694 b	2 568 b	2 936	7
费乌瑞它	113	中子	块茎	贯穿	3 415	4 147	2 559 b	1 814 cd	2 984	6
大西洋×9401-3	60	重离子	种子	离子贯穿	4 527	2 888	2 694 b	2 282 bc	3 097	5
178-10×119-11	60	重离子	种子	离子注入	3 415	3 592	4 724 a	3 135 a	3 717	1
大西洋×9401-3	120	重离子	种子	离子贯穿	3 909	3 296	4 313 a	2 468 b	3 496	3
陇薯 3 号	CK				2 881	2 222	3 030 b	1 642 cd	2 444	
大西洋	CK				2 058	1 777	875 d	1 494 d	1 551	
费乌瑞它	CK				2 551	2 037	1 414 c	1 540 d	1 886	

* 产量后标注的字母(如 a，b，c 和 d)表示新复极差测验的结果，相同字母表示处理间产量差异没有达到 $P=0.05$ 的显著水平。CK 为对照品种。

另外，在选育过程中还发现，采用离子注入的方式进行辐射，后代薯块的畸形率高于离子贯穿。

由于当时采用的重离子能量有限，在组织中穿透的距离较短，因此对马铃薯块茎辐射效应不明

显，所以采用了杂交和微型薯进行了辐射。由于马铃薯杂交种子后代都要分离，这就对确定重离子辐射效应造成了难度。本研究通过比较杂交种子辐射和不辐射后代的产量来说明辐射的效果，根据产量较高的 7 个品系均是辐射后代、而高产品系中没有未辐射后代为依据证明了重离子辐射的效应。这种杂交和辐射相结合的方法是一种选育新品种的高效手段，但难以准确研究和说明重离子辐射产生变异的机理，也无法充分说明重离子的辐射效应。因此，在重离子辐射机理的研究中，选择块茎较小的微型薯，以保证辐射材料基因型的一致性，这样才能准确确定重离子辐射的变异率。

另外，中子辐射结果证明，对马铃薯块茎中子辐射后也能显著提高产量(见表 1)。

3.2　辐射后代的品质分析

对从辐射后代中选育出的几个高产新品系和对照的品质进行了对比分析，结果(见表 2)表明，5 个新品系的淀粉和干物质含量均低于高淀粉对照品种陇薯 3 号，高于薯片和薯条加工型对照品种大西洋。所有测定品系中，仅大西洋×9401-3 组合辐射后代的还原糖含量低于大西洋，且淀粉含量、干物质和产量高于大西洋，是一个有希望的加工型替代品种。费乌瑞它品种辐射后代的淀粉含量略低于没有辐射的对照，但还原糖和干物质高于对照。

表 2　马铃薯杂交辐射后代的淀粉、还原糖、干物质含量测定结果*

组合	离子剂量/Gy	离子类型	辐射方式	淀粉(%)	还原糖(%)	干物质(%)
费乌瑞它	60	重离子	离子贯穿	15.08	0.440	21.88
L9401-8×远杂 7 号	120	重离子	离子贯穿	16.26	0.309	24.68
大西洋×9401-3	120	重离子	离子贯穿	16.50	0.233	25.49
大西洋×9401-3	60	重离子	离子贯穿	15.89	0.286	26.05
178-10×119-11	60	重离子	离子注入	16.34	0.275	23.96
陇薯 3 号	CK			18.92	0.327	27.57
大西洋	CK			14.22	0.274	20.07
费乌瑞它	CK			15.23	0.281	19.23

* CK 为对照品种。

品质分析结果说明，杂交和辐射相结合能选出品质性状优良的新品系，但本研究还无法确定辐射对块茎干物质、淀粉和还原糖含量的影响规律。

4　结论

马铃薯重离子辐射效果明显，对微型薯进行重离子辐射，能显著提高块茎的产量，而采用杂交育种和重离子辐射相结合的方法进行新品种选育，能更大幅度地提高产量，并且块茎品质、特别是加工品质有了明显的改善，因此，杂交和重离子辐射相结合的育种是马铃薯新品种选育的一种高效方式。其中，杂交种子辐射的最适剂量在 60—120 Gy 之间，微型薯最佳剂量为 60 Gy。采用离子贯穿和注入均能引起变异，但离子注入会增加薯块的畸形率，影响薯形。

参考文献(References)：

[1]　Liu Guihua. Tillage and Cultivation, 2004, **3**: 8(in Chinese).
(刘桂华. 耕作与栽培, 2004, **3**: 8.)

[2]　Xie Jianhua. China Agricultural Technology Extension, 2007, **23**(5): 4(in Chinese).
(谢建华. 中国农技推广, 2007, **23**(5): 4.)

[3]　Xie Lianmei, Liu Mancang, Zhang Yongchen, *et al*. Journal of Potato, 1989, **3**(1): 17(in Chinese).
(谢莲美, 刘满仓, 张永成等. 马铃薯杂志, 1989, **3**(l): 17.)

[4]　Li Yanmin, Zhao Lianzhi, Wang Yong, *et al*. Journal of Triticeae Crops, 2004, **24**(2): 137(in Chinese).
(李雁民, 赵连芝, 王　勇等. 麦类作物学报, 2004, **24**(2): 137.)

[5]　Liu Zhifang, Shao Junming, Tang Zhangxiong, *et al*. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2006, **20**(1): 1(in Chinese).
(刘志芳, 邵俊明, 唐掌雄等. 核农学报, 2006, **20**(1): 1.)

[6]　Xie Hongmei, Hao Jifang, Wei Zengquan, *et al*. J Radiat Res Radiat Process, 2004, **22**(1): 61(in Chinese).

（颉红梅，郝冀方，卫增泉等. 辐射研究与辐射工艺学报， 2004，**22**(1)：61.）

Study of Mutation Breeding with Heavy Ion Irradiations on Potatoes*

XIE Zhong-kui[1, 1)], WANG Ya-jun[1], XIE Hong-mei[2], GUO Zhi-hong[1], WEI Zeng-quan[2]

(1 *Cold and Arid Region Enviromental and Engineering Research Institute*, *Chinese Academy of Sciences*, *Lanzhou* 730000, *China*;

2 *Institute of Modern Physics*, *Chinese Academy of Sciences*, *Lanzhou* 730000, *China*)

Abstract: The effect of 55 MeV/u $^{40}Ar^{17+}$ irradiation with different doses on hybrid seeds and micro-tubers of potatoes were studied from year 2000 to 2005. The results showed that the yields of potatoes irradiated by heavy ions grew significantly. This new mutation method combining cross breeding technique with heavy ion irradiation is more effective, which could not only increase the yield of potatoes, but also improve their quality. The optimal mutagenic dose was 60 Gy to micro-tubers of potatoes, 60—120 Gy to hybrid seeds, respectively. Finally, several new lines which have higher yield and better qualities were obtained through multi-generation screening from the offspring of irradiated potatoes.

Key words: potato; heavy ion irradiation; yield; quality

* **Received date**: 12 Mar. 2008; **Revised date**: 17 Mar. 2008

* **Foundation item**: Agricultural Direction Project of Chinese Academy of Seiences(CASN-115-06-08); Project from the Ministry of Science and Technology of China (2006BAD26B0201)

1) E-mail: wxhcas@lzb.ac.cn