



余帮强,张国辉,颀瑞霞,等.太空诱变对七个马铃薯品种相关性状的影响[J].黑龙江农业科学,2023(5):20-27.

太空诱变对七个马铃薯品种相关性状的影响

余帮强,张国辉,颀瑞霞,厚俊,郭志乾

(宁夏农林科学院 固原分院,宁夏 固原 756000)

摘要:为加快马铃薯种质改良和品种选育进程,对7个马铃薯品种的18份太空诱变材料进行了种植鉴定,重点分析了农艺性状、经济性状及产量性状的变异情况。结果表明,太空诱变对供试马铃薯生育期影响最大,其中83%延长、17%缩短;对单薯重、产量、商品薯率的影响位居第二,均表现为80%正向影响、20%逆向影响;对株高、花繁茂性、匍匐茎影响位居第三,对块茎整齐度影响位居第四;太空诱变对株形、茎色、叶色、花冠色、天然结实性、主茎数、薯形、皮色、肉色、薯皮类型、芽眼深浅等性状指标没有影响。太空诱变条件下,青薯9号、青薯168、宁薯19号、宁薯18号4个品种相关性状变异较大,在后续工作中,将利用这4个品种的诱变单株材料作为杂交亲本,选育优良杂交子代材料。

关键词:太空诱变;马铃薯;农艺性状;经济性状

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是同源四倍体无性繁殖作物,由于其存在基因分离复杂、细胞杂合水平高、隐性基因表现几率较低、杂交结实困难等原因^[1],用传统育种方法选育新品种存在着许多局限,在四倍体水平上选育优良品种的效率不高。实践证明,诱变育种与常规育种相比,在改变或创造单基因控制的特殊性状方面具有独特的优势,它可以打破基因连锁,提高重组率,诱发产生自然界原来没有的或常规育种难以获得的新基因、新类型、新性状,而且后代的性状稳定快,是对育种资源不足的一种补充^[2]。在DNA水平上,诱变育种往往会产生比同源或异源转基因更大的改变^[3]。太空诱变育种是诱变育种技术之一,高辐射、微重力、大温差等太空特有因素可能导致一个物种的形态变异和DNA诱变作用^[4-5]。研究表明,太空环境引起的生物变异有些是可以遗传的,产生的优良种质可以丰富种质资源,加快育种进程^[2]。

宁夏南部山区土层疏松深厚,通透性好,土壤含钾量高,7月—9月降雨量完全能够满足马铃薯中后期生长发育,利于块茎干物质的制造和积累,

是我国马铃薯主产区之一^[6]。然而随着产业的发展,市场对马铃薯的要求也越来越高,消费需求更加注重视品质和专用型,马铃薯种植品种选择也已从最初的高产通用型转为向专用型品种方向发展。在新的市场需求下,当地马铃薯产业最大的问题就是品种类型单一,缺乏适合当地种植的优质专用型品种,从而影响了种植效益和加工效益的提高,制约着产业化发展。为了选育出适合当地种植的优良马铃薯品种,宁夏马铃薯科研创新团队积极探索育种方法,在以常规杂交育种为主的基础上,加快了分子育种等其他育种方法的研究。目前,航天育种方面工作开展的相对较少。为了加快推进宁夏马铃薯新品种选育进程,进一步丰富育种方法,本研究对7个马铃薯品种的18份太空诱变的材料进行了农艺性状、经济性状等性状的变异情况鉴定,以期后续材料的太空诱变提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验从2021年3月—10月在宁夏农林科学院固原分院观庄科研基地(宁夏固原市隆德县观庄乡林园村)进行。该区域是六盘山阴湿区域,也是宁夏马铃薯主要产区之一,地处35°70'N, 106°16'E,海拔2 300 m,年降雨量450 mm左右,日照时数2 400~2 600 h,日照百分率63%~70%,总辐射量121~130 kCal·cm⁻²,生理辐射68~70 kCal·cm⁻²,年平均气温7.4℃,无霜期

收稿日期:2022-12-01

基金项目:宁夏自然科学基金项目(2021AAC03292);宁夏马铃薯育种专项(2019NYYZ01-3);国家马铃薯固原综合试验站(CARS-09-ES35)。

第一作者:余帮强(1980—),男,硕士,高级农艺师,从事马铃薯新品种选育和栽培技术研究。E-mail:56591217@qq.com。

通信作者:郭志乾(1965—),男,学士,推广研究员,从事马铃薯新品种选育和栽培技术研究。E-mail:nxguozhiqian@163.com。

130~165 d,5 ℃以上有效积温 2 691.9 ℃。土质为浅黑垆土,pH7.6~8.6,有机质含量 1.69%,碱解氮 96.6 mg·kg⁻¹,速效磷 34.9 mg·kg⁻¹,速效钾 202 mg·kg⁻¹,土壤结构疏松,透气性好,非常适宜马铃薯生长。

1.2 材料

2020 年上半年新一代载人航天飞船由长征五号 B 运载火箭推送太空,搭载了 7 个马铃薯品种的 49 粒微型薯(每个品种 7 粒)。7 月初在温

室内种植,10 月底共收获了 7 个品种的 18 份太空诱变材料(其余航天材料因失水严重未能正常出苗)。本试验供试材料为太空搭载的 7 个马铃薯品种的 18 份材料,即陇薯 7 号(1 份)、青薯 9 号(3 份)、青薯 168(4 份)、大西洋(1 份)、宁薯 17 号(1 份)、宁薯 18 号(4 份)、宁薯 19 号(4 份),另用对应品种的未经诱变的对应级别种薯作为对照。为了方便试验管理,将太空诱变试验材料及对照材料分别进行了编号,详见表 1。

表 1 航天育种材料及对照材料试验编号

材料名称	编号	材料名称	编号	材料名称	编号
陇薯 7 号-单株 1	HT2020-01-1	青薯 168-单株 4	HT2020-03-4	宁薯 18 号-单株 4	HT2020-08-4
陇薯 7 号-对照	2020-01-CK	青薯 168-对照	2020-03-CK	宁薯 18 号-对照	2020-08-CK
青薯 9 号-单株 1	HT2020-02-1	大西洋-单株 1	HT2020-04-1	宁薯 19 号-单株 1	HT2020-09-1
青薯 9 号-单株 2	HT2020-02-2	大西洋-对照	2020-04-CK	宁薯 19 号-单株 2	HT2020-09-2
青薯 9 号-单株 3	HT2020-02-3	宁薯 17 号-单株 1	HT2020-07-1	宁薯 19 号-单株 3	HT2020-09-3
青薯 9 号-对照	2020-02-CK	宁薯 17 号-对照	2020-07-CK	宁薯 19 号-单株 4	HT2020-09-4
青薯 168-单株 1	HT2020-03-1	宁薯 18 号-单株 1	HT2020-08-1	宁薯 19 号-对照	2020-09-CK
青薯 168-单株 2	HT2020-03-2	宁薯 18 号-单株 2	HT2020-08-2		
青薯 168-单株 3	HT2020-03-3	宁薯 18 号-单株 3	HT2020-08-3		

1.3 方法

1.3.1 试验设计 分别将每个品种的太空诱变材料及其对照材料进行分类种植,于 4 月 23 日播种,试验四周均设置 6 行保护行,田间管理与当地管理措施相同,每个处理的管理措施均保持一致。通过试验,鉴定太空诱变材料与其对照之间的差异情况。试验采用随机区组设计,3 次重复,每个区组每份材料种植 10 株,小区面积4.4 m²。露地起垄垄上种植,垄面宽 70 cm,垄沟宽 40 cm,垄高 15 cm,一垄两行,平均行距 55 cm,株距 40 cm,种植密度为 3 031 株·(667 m²)⁻¹。

1.3.2 测定项目及方法 各处理随机调查 5 株,测定株高等农艺性状、薯形等经济性状、单株块茎数等产量性状,测定方法严格参照《国家马铃薯品种试验调查记载项目及标准》进行。

1.3.3 数据分析 试验数据采用 Excel 2007 进行整理,采用 DPS 19.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 太空诱变对马铃薯农艺性状的影响

2.1.1 生育期 由表 2 可知,太空诱变条件下,有 12 份材料生育期差异不显著,包括 1 份陇薯 7 号、2 份青薯 9 号、2 份青薯 168、1 份大西洋、1 份宁薯 17 号、3 份宁薯 18 号、2 份宁薯 19 号。有 6 份材料生育期变化显著,包括 1 份青薯 9 号,即 HT2020-02-1,生育期比对照长 4 d;2 份青薯 168,即 HT2020-03-1 和 HT2020-03-4,生育期比对照分别长 5 和 3 d;1 份宁薯 18 号,即 HT2020-08-3,生育期比对照缩短 3 d;2 份宁薯 19 号,即 HT2020-09-2 和 HT2020-09-4,生育期比对照延长3~4 d。

表 2 太空诱变对马铃薯生育期的影响

品种	编号	出苗期	现蕾期	开花期	成熟期	生育期/d
陇薯 7 号	HT2020-01-1	5 月 21 日	6 月 17 日	7 月 7 日	9 月 12 日	113.7±0.29 a
	2020-01-CK	5 月 21 日	6 月 17 日	7 月 7 日	9 月 12 日	114.0±0.29 a
青薯 9 号	HT2020-02-1	5 月 25 日	6 月 26 日	7 月 20 日	10 月 7 日	135.3±1.15 a
	HT2020-02-2	5 月 22 日	6 月 23 日	7 月 15 日	9 月 30 日	130.7±0.58 b
	HT2020-02-3	5 月 22 日	6 月 23 日	7 月 15 日	9 月 30 日	131.0±1.00 b
	2020-02-CK	5 月 22 日	6 月 23 日	7 月 15 日	9 月 30 日	131.0±0.00 b

表 2 (续)

品种	编号	出苗期	现蕾期	开花期	成熟期	生育期/d
青薯 168	HT2020-03-1	5 月 24 日	6 月 25 日	7 月 17 日	10 月 1 日	130.3±0.80 a
	HT2020-03-2	5 月 22 日	6 月 21 日	7 月 12 日	9 月 24 日	124.7±0.76 b
	HT2020-03-3	5 月 22 日	6 月 21 日	7 月 12 日	9 月 24 日	125.0±0.76 b
	HT2020-03-4	5 月 23 日	6 月 23 日	7 月 15 日	9 月 28 日	128.3±0.20 a
	2020-03-CK	5 月 22 日	6 月 21 日	7 月 12 日	9 月 24 日	125.3±0.80 b
大西洋	HT2020-04-1	5 月 20 日	6 月 15 日	7 月 1 日	8 月 20 日	91.3±0.76 a
	2020-04-CK	5 月 20 日	6 月 15 日	7 月 1 日	8 月 20 日	91.0±0.76 a
宁薯 17 号	HT2020-07-1	5 月 20 日	6 月 16 日	7 月 5 日	9 月 9 日	111.0±0.29 a
	2020-07-CK	5 月 20 日	6 月 16 日	7 月 5 日	9 月 9 日	111.0±0.29 a
宁薯 18 号	HT2020-08-1	5 月 21 日	6 月 17 日	7 月 7 日	9 月 12 日	114.3±0.64 a
	HT2020-08-2	5 月 21 日	6 月 17 日	7 月 7 日	9 月 12 日	113.7±0.53 a
	HT2020-08-3	5 月 21 日	6 月 15 日	7 月 5 日	9 月 9 日	110.3±0.46 b
	HT2020-08-4	5 月 21 日	6 月 17 日	7 月 7 日	9 月 12 日	113.3±0.46 a
	2020-08-CK	5 月 21 日	6 月 17 日	7 月 7 日	9 月 12 日	113.7±1.22 a
宁薯 19 号	HT2020-09-1	5 月 20 日	6 月 15 日	7 月 3 日	9 月 1 日	103.3±0.46 b
	HT2020-09-2	5 月 21 日	6 月 16 日	7 月 5 日	9 月 4 日	106.7±0.53 a
	HT2020-09-3	5 月 20 日	6 月 15 日	7 月 3 日	9 月 1 日	103.7±0.53 b
	HT2020-09-4	5 月 22 日	6 月 17 日	7 月 7 日	9 月 7 日	107.7±0.69 a
	2020-09-CK	5 月 20 日	6 月 15 日	7 月 3 日	9 月 1 日	104.0±1.01 b

注:不同小写字母表示同一品种不同材料间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

2.1.2 株高 由图 1 可知,太空诱变条件下株高变化差异不显著的材料有 14 份,包括 1 份陇薯 7 号、2 份青薯 9 号、3 份青薯 168、1 份大西洋、1 份宁薯 17 号、4 份宁薯 18 号、2 份宁薯 19 号。株高变化差异显著的材料有 4 份,包括 1 份青薯 9 号,即 HT2020-02-1,株高比对照增加 3.1 cm;1 份青薯 168,即 HT2020-03-4,株高比对照增加 3.2 cm;2 份宁薯 19 号,即 HT2020-09-2 和 HT2020-09-4,株高分别比对照增加 3.7 和 4.2 cm。

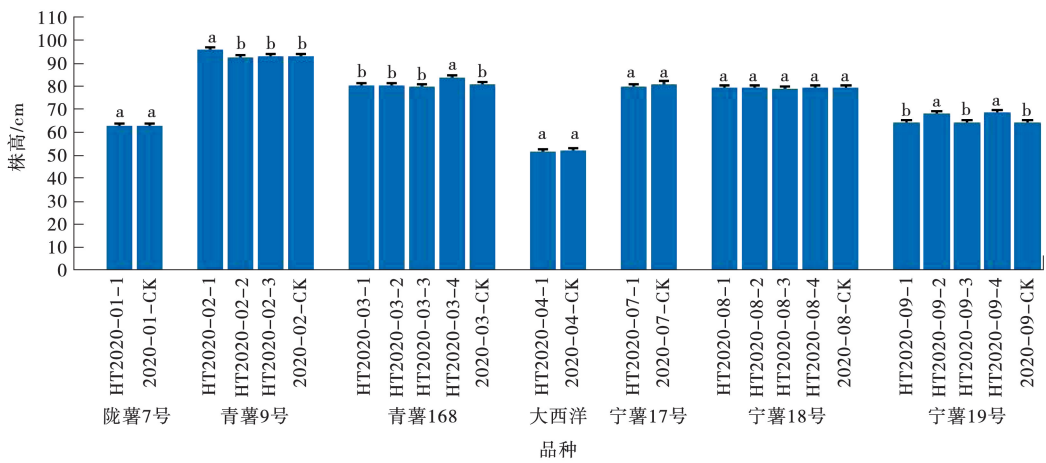


图 1 太空诱变对马铃薯株高的影响

注:不同小写字母表示同一品种不同材料间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

2.1.3 形态特征 从表 3 可以看出,太空诱变条件下所有材料的株形、茎色、叶色、花冠色及天然结实性均没有发生变化。主茎数为 2.0~3.4 个,不同品种不同材料间变化差异不显著。花繁茂性有轻微变化的材料有 4 份,包括 1 份青薯 9 号,即 HT2020-02-2,花繁茂性由繁茂变为较繁茂;1 份青薯 168,即 HT2020-03-2,花繁茂性由较繁茂变为繁茂,1 份宁薯 18 号,即 HT2020-08-2,花繁茂性由繁茂变为较繁茂;1 份宁薯 19 号,即 HT2020-09-3,花繁茂性由繁茂变为较繁茂。

表 3 太空诱变对马铃薯形态特征的影响

名称	编号	株形	茎色	叶色	花繁茂性	花冠色	天然结实性	主茎数
陇薯 7 号	HT2020-01-1	直立	绿色	绿色	繁茂	白色	少	3.2±0.10 a
	2020-01-CK	直立	绿色	绿色	繁茂	白色	少	3.0±0.10 a
青薯 9 号	HT2020-02-1	直立	紫色	深绿色	繁茂	浅紫色	无	3.1±0.06 a
	HT2020-02-2	直立	紫色	深绿色	较繁茂	浅紫色	无	2.8±0.09 a
	HT2020-02-3	直立	紫色	深绿色	繁茂	浅紫色	无	2.9±0.27 a
	2020-02-CK	直立	紫色	深绿色	繁茂	浅紫色	无	2.9±0.23 a
青薯 168	HT2020-03-1	直立	红褐色	深绿色	较繁茂	紫红色	少	2.6±0.13 a
	HT2020-03-2	直立	红褐色	深绿色	繁茂	紫红色	少	2.9±0.14 a
	HT2020-03-3	直立	红褐色	深绿色	较繁茂	紫红色	少	2.9±0.11 a
	HT2020-03-4	直立	红褐色	深绿色	较繁茂	紫红色	少	2.8±0.12 a
	2020-03-CK	直立	红褐色	深绿色	较繁茂	紫红色	少	2.8±0.22 a
大西洋	HT2020-04-1	直立	绿带紫褐	绿色	较繁茂	淡紫色	中等	3.4±0.20 a
	2020-04-CK	直立	绿带紫褐	绿色	较繁茂	淡紫色	中等	3.3±0.20 a
宁薯 17 号	HT2020-07-1	直立	绿色	绿色	较繁茂	白色	少	2.0±0.13 a
	2020-07-CK	直立	绿色	绿色	较繁茂	白色	少	2.0±0.13 a
宁薯 18 号	HT2020-08-1	直立	深绿色	深绿色	繁茂	白色	少	2.1±0.22 a
	HT2020-08-2	直立	深绿色	深绿色	较繁茂	白色	少	2.3±0.18 a
	HT2020-08-3	直立	深绿色	深绿色	繁茂	白色	少	2.2±0.04 a
	HT2020-08-4	直立	深绿色	深绿色	繁茂	白色	少	2.3±0.14 a
	2020-08-CK	直立	深绿色	深绿色	繁茂	白色	少	2.4±0.16 a
宁薯 19 号	HT2020-09-1	直立	绿色	深绿色	繁茂	深蓝色	少	2.1±0.19 a
	HT2020-09-2	直立	绿色	深绿色	繁茂	深蓝色	少	2.1±0.28 a
	HT2020-09-3	直立	绿色	深绿色	较繁茂	深蓝色	少	2.0±0.02 a
	HT2020-09-4	直立	绿色	深绿色	繁茂	深蓝色	少	2.3±0.20 a
	2020-09-CK	直立	绿色	深绿色	繁茂	深蓝色	少	2.1±0.22 a

2.2 太空诱变对马铃薯经济性状的影响

2.2.1 经济性状 由表 4 可知,太空诱变条件下所有材料的薯形、皮色、肉色、薯皮类型、芽眼深浅等形态特征均没有发生变化。仅块茎整齐度和匍匐茎长短发生了略微变化,块茎整齐度没发生变化的材料有 15 份,发生了变化的材料有 3 份,包括 1 份陇薯 7 号,即 HT2020-01-1,块茎整齐度由整齐变为较整齐;1 份青薯 9 号,即 HT2020-02-2,块茎整齐度由中等变为较整齐;1 份宁薯 19 号,即 HT2020-09-3,块茎整齐度由整齐变为较整齐。匍匐茎没发生变化的材料有 14 份,发生变化的材料有 4 份,包括 1 份青薯 9 号,即 HT2020-02-2,匍匐茎由较短变为短;1 份青薯 168,即 HT2020-03-1,匍匐茎由较短变为中等;1 份宁薯 18 号,即 HT2020-08-2,匍匐茎由较短变为短;1 份宁薯 19 号,即 HT2020-09-3,匍匐茎由短变为较短。说明太空诱变对参试的马铃薯品种的经济性状影响较小。

表 4 太空诱变对马铃薯经济性状的影响

名称	编号	薯形	皮色	肉色	薯皮类型	芽眼深浅	块茎整齐度	匍匐茎
陇薯 7 号	HT2020-01-1	椭圆形	黄色	黄色	光滑	浅	较整齐	短
	2020-01-CK	椭圆形	黄色	黄色	光滑	浅	整齐	短
青薯 9 号	HT2020-02-1	椭圆	红色	黄色	麻皮	较浅	中等	较短
	HT2020-02-2	椭圆	红色	黄色	麻皮	较浅	较整齐	短
	HT2020-02-3	椭圆	红色	黄色	麻皮	较浅	中等	较短
	2020-02-CK	椭圆	红色	黄色	麻皮	较浅	中等	较短
青薯 168	HT2020-03-1	椭圆形	红色	黄色	光滑	浅	整齐	中等
	HT2020-03-2	椭圆形	红色	黄色	光滑	浅	整齐	较短
	HT2020-03-3	椭圆形	红色	黄色	光滑	浅	整齐	较短
	HT2020-03-4	椭圆形	红色	黄色	光滑	浅	整齐	较短
	2020-03-CK	椭圆形	红色	黄色	光滑	浅	整齐	较短
大西洋	HT2020-04-1	圆形	淡黄色	白色	略麻皮	浅	整齐	短
	2020-04-CK	圆形	淡黄色	白色	略麻皮	浅	整齐	短
宁薯 17 号	HT2020-07-1	卵圆形	浅黄色	浅黄色	光滑	较浅	整齐	较短
	2020-07-CK	卵圆形	浅黄色	浅黄色	光滑	较浅	整齐	较短
宁薯 18 号	HT2020-08-1	长圆形	浅黄色	浅黄色	光滑	浅	整齐	较短
	HT2020-08-2	长圆形	浅黄色	浅黄色	光滑	浅	整齐	短
	HT2020-08-3	长圆形	浅黄色	浅黄色	光滑	浅	整齐	较短
	HT2020-08-4	长圆形	浅黄色	浅黄色	光滑	浅	整齐	较短
	2020-08-CK	长圆形	浅黄色	浅黄色	光滑	浅	整齐	较短
宁薯 19 号	HT2020-09-1	圆形	淡黄色	白色	光滑	较浅	整齐	短
	HT2020-09-2	圆形	淡黄色	白色	光滑	较浅	整齐	短
	HT2020-09-3	圆形	淡黄色	白色	光滑	较浅	较整齐	较短
	HT2020-09-4	圆形	淡黄色	白色	光滑	较浅	整齐	短
	2020-09-CK	圆形	淡黄色	白色	光滑	较浅	整齐	短

2.2.2 产量性状 由表 5 可知,太空诱变条件下马铃薯单株块茎数与对照材料差异均不显著。单薯重与对照材料差异显著的材料有 5 份,包括 1 份青薯 9 号,即 HT2020-02-3,比对照增加 9.6%;1 份青薯 168,即 HT2020-03-2,比对照增加 16.6%;2 份宁薯 18 号,即 HT2020-08-2 和 HT2020-08-3,分别比对照减少 1.6%和增加 3.8%;1 份宁薯19 号,即 HT2020-09-4,比对照增加 5.8%,其余 13 份与对照差异均不显著。

产量和商品薯率与对照材料差异显著的是相同

的 5 份材料,包括 2 份青薯 9 号,即 HT2020-02-1 和 HT2020-02-3,产量分别比对照减少 5.9%和增加5.6%,商品薯率分别比对照减少 6.9%和增加 5.8%;1 份青薯 168,即 HT2020-03-2,产量和商品薯率分别比对照增加 4.4%和 5.2%;1 份宁薯 18 号,即 HT2020-08-3,产量和商品薯率分别比对照增加 7.0%和 6.1%;1 份宁薯 19 号,即 HT2020-09-4,产量和商品薯率分别比对照增加 6.3%和 3.9%,其余 13 份材料均与对照差异不显著。

表 5 太空诱变对马铃薯产量性状的影响

品种	编号	单株块茎数/个	单薯重/g	产量/ [kg·(667 m ²) ⁻¹]	增产率/%	商品薯率/%	比对照增减/ %
陇薯 7 号	HT2020-01-1	5.8±0.20 a	109.2±1.12 a	2116.7±11.66 a	1.2	80.3±0.88 a	2.0
	2020-01-CK	6.1±0.20 a	103.5±1.21 a	2091.5±11.66 a		78.7±0.88 a	
青薯 9 号	HT2020-02-1	7.9±0.28 a	100.7±2.78 b	2600.8±13.89 c	−5.9	78.8±0.88 c	−6.9
	HT2020-02-2	8.0±0.13 a	106.7±2.94 b	2800.2±5.95 b	1.4	84.5±0.81 b	−0.1
	HT2020-02-3	7.8±0.16 a	112.9±2.51 a	2917.3±36.77 a	5.6	89.5±0.65 a	5.8
	2020-02-CK	8.0±0.26 a	103.0±2.33 b	2762.9±47.88 b		84.6±0.58 b	
青薯 168	HT2020-03-1	7.7±0.16 ab	89.4±0.76 b	2389.5±30.44 b	−0.1	83.1±0.52 b	−0.1
	HT2020-03-2	7.1±0.22 b	104.8±1.47 a	2496.2±12.06 a	4.4	87.5±0.52 a	5.2
	HT2020-03-3	7.9±0.40 a	91.6±2.53 b	2417.4±29.31 b	1.1	82.8±0.33 b	−0.5
	HT2020-03-4	8.0±0.29 a	90.5±0.90 b	2388.4±12.99 b	−0.1	83.4±0.73 b	0.2
	2020-03-CK	8.0±0.30 a	89.9±1.40 b	2391.1±7.00 b		83.2±0.63 b	
大西洋	HT2020-04-1	5.0±0.20 a	100.0±0.51 a	1707.2±12.19 a	1.8	83.3±0.14 a	0.4
	2020-04-CK	5.2±0.20 a	98.8±0.51 a	1676.4±12.19 a		83.0±0.14 a	
宁薯 17 号	HT2020-07-1	6.2±0.06 a	102.7±0.74 a	2133.9±19.44 a	−2.4	78.0±0.40 a	−1.1
	2020-07-CK	6.2±0.06 a	105.6±0.74 a	2187.2±19.44 a		78.9±0.40 a	
宁薯 18 号	HT2020-08-1	5.9±0.16 a	131.5±0.82 bc	2443.1±24.22 b	0.6	83.3±0.43 b	1.3
	HT2020-08-2	5.8±0.31 a	130.6±0.26 c	2411.9±17.81 b	−0.7	82.0±0.45 c	−0.2
	HT2020-08-3	5.7±0.25 a	137.8±1.32 a	2598.7±12.31 a	7.0	87.2±0.31 a	6.1
	HT2020-08-4	5.5±0.25 a	133.6±1.06 b	2419.5±24.32 b	−0.4	83.2±0.05 b	1.2
	2020-08-CK	5.7±0.26 a	132.7±0.99 b	2428.1±31.35 b		82.2±0.96 bc	
宁薯 19 号	HT2020-09-1	5.8±0.21 a	142.1±0.93 c	2600.6±20.99 b	1.0	84.0±0.11 b	0.4
	HT2020-09-2	5.3±0.24 a	145.6±0.61 b	2534.7±16.71 c	−1.6	84.3±0.63 b	0.7
	HT2020-09-3	5.3±0.70 a	146.4±1.48 b	2539.4±32.27 c	−1.4	84.2±0.04 b	0.6
	HT2020-09-4	5.5±0.25 a	151.9±1.43 a	2737.3±44.50 a	6.3	87.0±0.29 a	3.9
	2020-09-CK	5.4±0.31 a	143.6±0.62 bc	2575.0±10.03 bc		83.7±0.65 b	

2.3 太空诱变马铃薯性状变化综合统计

由表 6 可知,从性状指标方面统计,与对照材料相比,生育期发生变化的材料数量最多,有 4 个品种 6 份材料,株高变化差异显著的有 3 个品种 4 份材料,花繁茂性发生变化的有 4 个品种 4 份材料,块茎整齐度发生变化的有 3 个品种 3 份材料,匍匐茎发生变化的有 4 个品种 4 份材料,单株

块茎数变化差异显著的有 1 个品种 1 份材料,单薯重变化差异显著的有 4 个品种 5 份材料,产量和商品薯率变化差异显著的均有 4 个品种 5 份材料,株形、茎色、叶色、花冠色、天然结实性、主茎数、薯形、皮色、肉色、薯皮类型、芽眼深浅等性状指标均未发生变化。

表 6 性状变化综合统计

性状指标	陇薯 7 号	青薯 9 号	青薯 168	大西洋	宁薯 17 号	宁薯 18 号	宁薯 19 号
生育期	无变化	HT2020-02-1	HT2020-03-1 HT2020-03-4	无变化	无变化	HT2020-08-3	HT2020-09-2 HT2020-09-4
株高	不显著	HT2020-02-1	HT2020-03-4	不显著	不显著	不显著	HT2020-09-2 HT2020-09-4
株形	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
茎色	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
叶色	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
花冠色	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
天然结实性	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化

表 6 (续)

性状指标	陇薯 7 号	青薯 9 号	青薯 168	大西洋	宁薯 17 号	宁薯 18 号	宁薯 19 号
花繁茂性	无变化	HT2020-02-2	HT2020-03-2	无变化	无变化	HT2020-08-2	HT2020-09-3
主茎数	不显著	不显著	不显著	不显著	不显著	不显著	不显著
薯形	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
皮色	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
肉色	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
薯皮类型	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
芽眼深浅	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
块茎整齐度	HT2020-01-1	HT2020-02-2	无变化	无变化	无变化	无变化	HT2020-09-3
匍匐茎	无变化	HT2020-02-2	HT2020-03-1	无变化	无变化	HT2020-08-2	HT2020-09-3
单株块茎数	不显著	不显著	HT2020-03-2	不显著	不显著	不显著	不显著
单薯重	不显著	HT2020-02-3	HT2020-03-2	不显著	不显著	HT2020-08-2	HT2020-09-4
						HT2020-08-3	
产量	不显著	HT2020-02-1	HT2020-03-2	不显著	不显著	HT2020-08-3	HT2020-09-4
		HT2020-02-3					
商品薯率	不显著	HT2020-02-1	HT2020-03-2	不显著	不显著	HT2020-08-3	HT2020-09-4
		HT2020-02-3					

从参试品种方面统计,青薯 9 号、青薯 168、宁薯 19 号 3 个品种性状发生显著变化的材料数量最多,均是 3 个,性状指标发生显著变化的数量分别为8 个、8 个、7 个。宁薯 18 号性状发生显著变化的材料数量是 2 个。陇薯 7 号性状发生显著变化的材料数是 1 个。大西洋和宁薯 17 号两个品种性状发生显著变化的材料数量最少,均是 0 个。

3 讨论

国内外专家都在太空诱变育种方面做出了大量工作。美国太空诱变的研究表明,微重力对细胞结构没有影响,重力的减少不会阻碍块茎的形成^[7]。美国的布鲁斯·巴格比研究出太空矮秆小麦,小麦株高 40 cm,生育期也只有 60 d,产量高出普通小麦的 3 倍,很有可能适合太空生长^[8]。我国于 1987 年第 1 次通过返回式卫星对农作物种子等生物材料进行了空间搭载试验,至今共搭载生物种质材料 30 余次^[9],经过 30 多年的发展,我国通过太空诱变培育出了许多产量高、品质好、抗逆性强的农作物新品种。利用空间诱变育种技术,华南农业大学在普感稻瘟病的品种丽江新团黑谷和中二软占中诱变和创制出一批抗病乃至达到免疫的新种质^[10]。利用这些抗病种质资源,创建了一大批骨干亲本,培育出更为优质丰产高抗稻瘟病的新品种^[11-12]。张诚等^[13]利用航天育种技术,以金针菇品种江山白 F₂₁ 为材料,选育出菇形好、产量高、耐高温金针菇新品种航金 1 号;

高彦辉等^[14]利用返回式卫星搭载选育出抗疫病、炭疽病、病毒病的航椒 18 号;航苜 1 号紫花苜蓿为我国第一个航天诱变多叶型紫花苜蓿新品种^[15];中国医学科学院药用植物研究所将薏苡种子搭载实践八号返回式卫星,经地面多年选育获得了太空 1 号薏苡新品种^[16]。马铃薯遗传较复杂,与其他作物相比,太空诱变育种进展较缓慢,关于太空诱变对马铃薯种薯的影响少有报道^[17]。张桂芝等^[18]研究表明,经太空诱变处理的种子发芽率、发芽势、出苗率、成苗率均不同程度下降,幼苗的植株矮化、生长较迟缓,而茎粗则增加,变异株在茎和叶片的颜色方面黄化或加深。幼苗叶片保护酶活性增强,且增强幅度较大。

本研究通过对 7 个马铃薯品种不同材料的太空诱变后的表现进行对比分析,发现在太空诱变后,青薯 9 号、青薯 168、宁薯 19 号相关性状变化较多,其次是宁薯 18 号,这 4 个品种的诱变单株下一步可以作为杂交育种亲本材料,进行优良品种选育。后续应对这 4 个太空诱变后性状变化较大的参试材料进一步在不同生态区域进行种植鉴定。本试验中太空诱变材料的性状发生变化的因素可能是多方面的,一方面可能是由于试验地土壤质地不均匀、水肥条件控制的不一致或不够精准等引起的性状变化,另一方面可能是由于太空诱变引起的性状变化。太空诱变多是细胞和微结构之间变异,由于试验只是对相关性状进行了鉴

定,不能确定发生的变化就是变异,因此下一步需要利用分子生物学等手段进一步明确太空诱变材料遗传物质的变异情况。

4 结论

本试验研究发现,太空诱变对本试验马铃薯生育期影响最大,对生育期产生了延长和缩短两种效应;对单薯重、产量、商品薯率的影响位居第二,均表现为正向和逆向两种影响;对株高、花繁茂性、匍匐茎影响位居第三,对块茎整齐度影响位居第四;太空诱变对株形、茎色、叶色、花冠色、天然结实性、主茎数、薯形、皮色、肉色、薯皮类型、芽眼深浅等性状指标没有影响。试验结果表明,太空诱变条件下,青薯 9 号、青薯 168、宁薯 19 号、宁薯 18 号 4 个品种相关性状变化较大,在后续工作中,将利用这 4 个品种的诱变单株材料作为杂交亲本,选育优良杂交子代材料。

参考文献:

[1] 张延红,何春雨,谢从华,等.原生质体载体技术在马铃薯育种中的应用[J].中国农学通报,2005,21(9):43-46.

[2] 刘子瑜,黄先群,唐章林,等.马铃薯诱变育种研究进展[J].西南农业学报,2010,23(6):2124-2128.

[3] 韩微波,刘录祥,郭会君,等.小麦诱变育种新技术研究进展[J].麦类作物学报,2005,25(6):125-129.

[4] NECHITAILO G S, LU J Y, XUE H, et al. Influence of long term exposure to space flight on tomato seeds[J]. Advances in Space Research, 2005, 36:1329-1333.

[5] JIAN J, RONG C M, XIANG D C, et al. Analysis of genetic variation in *Ganoderma lucidum* after space flight [J]. Advances in Space Research, 2003, 31(6):1617-1622.

[6] 廖佳丽,徐福利,赵世伟.宁南山区施肥对马铃薯生长发育、产量及品质的影响[J].中国土壤与肥料,2009(4):48-52.

[7] WHEELER R M. Potato and human exploration of space:some observations from NASA-Sponsored controlled environment studies[J]. Potato Research, 2006, 49(1):67-70.

[8] 温贤芳,刘录祥.我国农业空间诱变育种研究进展[J].高科技与产业化,2001(6):31-37.

[9] 薛惠锋,王家胜,周少鹏,等.我国航天育种三十年发展现状、问题及建议[J].中国航天,2017(12):19-22.

[10] 洪彦彬,杨祁云,林佩珍.水稻空间诱变稻瘟病抗性变异研究及抗性变异基因的分子标记[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(4):96-100.

[11] XIAO W, YANG Q, WANG H, et al. Identification and finemapping of a resistance gene to *Magnaporthe oryzae* in a space-induced rice mutant[J]. Molecular Breeding, 2011, 28(3):303-312.

[12] 孙大元,周丹华,肖武名,等.利用 MAS 技术培育高抗稻瘟病的杂交水稻恢复系航恢 1173[J].华北农学报,2014,29(6):121-125.

[13] 张诚,陈庆隆,陈柳萌,等.金针菇新品种‘航金 1 号’[J].园艺学报,2013,40(11):2329-2330.

[14] 高彦辉,罗爱玉,张建东,等.辣椒新品种航椒 18 号的选育[J].中国蔬菜,2016(4):81-83.

[15] 杨红善,王彦荣,常根柱,等.牧草的航天诱变研究[J].中国草地学报,2015,37(1):104-110.

[16] 李卫东,崔清宇,马长华,等.我国中草药航天育种研究进展与展望[J].中国现代中药,2020,22(3):447-451.

[17] 高庆玉,魏媛媛,赵树亮,等.冬季自然降温对三种蓝莓抗寒生理指标的影响[J].湖北农业科学,2015,54(9):2142-2145.

[18] 桂佳芝,刘淑娜,于高波,等.太空诱变对紫色马铃薯种子及幼苗性状的影响研究[J].中国林副特产,2018(1):25-28.

Effects of Space Mutagenesis on Related Traits of Seven Potato Varieties

YU Bangqiang, ZHANG Guohui, XIE Ruixia, HOU Jun, GUO Zhiqian

(Guyuan Branch, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Guyuan 756000, China)

Abstract: In order to accelerate the process of potato germplasm improvement and variety breeding, 18 space-induced mutation materials from 7 potato varieties were planted and identified, with a focus on analyzing the variation of agronomic, economic, and yield traits. The results showed that space-induced mutation had the greatest impact on the growth period of the tested potatoes, with 83% of them being prolonged and 17% being shortened. The impact on single potato weight, yield, and commercial potato rate ranked second, with 80% positive impact and 20% negative impact. The impact on plant height, flower abundance, and creeping stem ranked third, and the impact on tuber neatness ranked fourth. Space-induced mutation had no impact on indicators such as plant shape, stem color, leaf color, corolla color, natural fertility, main stem number, tuber shape, skin color, flesh color, skin type, and bud depth. Under space-induced mutation conditions, the variation of related traits was greater in four varieties, Qingshu 9, Qingshu 168, Ningshu 19, and Ningshu 18. In subsequent work, the mutation single plant materials of these four varieties will be used as hybrid parents.

Keywords: space mutation; potato; agronomic characters; economic traits