

紫外辐照及甲基磺酸乙酯诱变对马铃薯早熟品种淀粉含量和产量性状的影响

徐宁, 许亚坤, 张洪亮, 张荣华, 刘冬雪, 王维峰

(黑龙江省农垦科学院 经济作物研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:针对黑龙江省现有马铃薯早熟品种淀粉含量较低的问题,通过紫外辐照和甲基磺酸乙酯浸泡2种方式,对东农303和中龙薯1号的组培苗进行处理,经过3a的种植、调查和数据采集,确定诱变方式对不同品种马铃薯变异程度和诱变方向的影响,以改良获得早熟且高淀粉含量的马铃薯品种。结果表明,诱变后,整体变化表现为无变化>抑制>促进,其中东农303更易发生变异,紫外辐照的诱变效果更佳。在组培苗阶段,多数处理显示为抑制作用;在原原种阶段,紫外辐照有利于东农303产量的提升和中龙薯1号淀粉含量的增加;在原种阶段,甲基磺酸乙酯浸泡对东农303的商品性有提升作用,而2种诱变方式对中龙薯1号的产量和结薯数量均有明显抑制作用,紫外辐照的影响更为显著。在紫外辐照处理中,2个品种均发现了1个淀粉含量明显提升的单株,2个单株的发现将有利于黑龙江省不同熟期品种的搭配种植,减少完全依赖晚熟品种所带来的种植风险,并可有效提升产业效益。

关键词:马铃薯;淀粉含量;紫外辐照;甲基磺酸乙酯浸泡;产量

中图分类号:S532 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2481(2024)05-0075-10

Effects of UV Irradiation and Ethyl Methyl Sulfonate Mutagenesis on Starch Content and Yield Traits of Early Maturing Potato Varieties

XU Ning, XU Yakun, ZHANG Hongliang, ZHANG Ronghua, LIU Dongxue, WANG Weifeng

(Institute of Economic Crops, Heilongjiang Academy of Agricultural Reclamation, Harbin 150030, China)

Abstract: This study aims to address low starch content in early maturing potato varieties in Heilongjiang Province, seeking to obtain potato varieties with early maturing and high starch content by improvement. In the study, seedlings of Dongnong 303 and Zhonglongshu 1 were treated by UV irradiation and ethyl methyl sulfonate (EMS) soaking, and after three years of planting, investigation, and data collection, the effect of mutagenesis methods on the variation degree and mutagenesis direction in different potato varieties was determined. Two high starch mutant plants with excellent traits were screened among the treatments. The results showed that after mutagenesis, the pattern observed was no change > inhibition > promotion, Dongnong 303 was most susceptible to mutation, and UV irradiation had better mutagenesis effective. During tissue culture seeding, most treatments inhibited growth, but during original species, UV irradiation improved yield in Dongnong 303 and increased starch content in Zhonglongshu 1. During protospecies, EMS soaking enhanced the commodity of Dongnong 303. Both methods had a significant inhibitory effect on yield and tuber numbers of Zhonglongshu 1, and the effect of UV irradiation was more significant. Finally, one plant from both of the two varieties showed a significant increase in starch content after the UV treatment. The discovery of the two plants was conducive to mixture planting of varieties with different maturity in Heilongjiang province, reduced planting risks associated with relying entirely on late maturing varieties, and effectively improved industrial efficiency.

Key words: potatoes; starch content; UV irradiation; ethylmethane sulfonate mutagenesis soaking; yield

黑龙江省马铃薯的主要种植区所主栽的品种均属于中晚熟,生育期较长,需充分利用当地的积温才能正常成熟。然而,一旦遇到异常气候,如连续秋雨或早霜等,可能导致提前收获,造成成熟度不足,严重影响产量和品质,并可能产生集中收获

的局面,不利于原料的合理分配,给企业加工带来极大压力。如有早熟品种搭配种植,不仅可以延长收获和加工时间,还能减轻种植户和生产企业的压力^[1-2]。但现有的早熟品种存在淀粉含量和产量双低的问题,导致种植户不愿种植。因此,选育高品

收稿日期:2023-12-28

基金项目:黑龙江省自然科学基金项目(LH2023C005, LH2021C084);北大荒集团重点科技专项(KJZX202204-06)

作者简介:徐宁(1983-),男,黑龙江佳木斯人,副研究员,硕士,主要从事马铃薯栽培和育种研究工作。

质的早熟马铃薯品种对促进黑龙江省马铃薯产业的发展具有重要意义。

马铃薯是同源四倍体无性繁殖作物,存在基因分离复杂、细胞杂合度高、隐性基因表达频率低、花粉不育、杂交结实困难等问题^[3],这些因素使得在四倍体水平上选育优良基因型品种的效率很低。为弥补这些问题,研究人员采用了多种新型育种方式,包括诱变育种、二倍体育种、基因工程和细胞工程等。其中,植物诱变育种因其变异频率高、育种进程快、操作简单而被广泛使用。诱变育种多数利用辐射或化学处理诱发遗传特性的变异,然后从变异群体中选择符合要求的个体。诱变技术可以增加遗传多样性,提供丰富的遗传资源和育种原材料,促进育种目标的实现^[4-7]。实践表明,诱变育种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,它打破了基因连锁,提高了重组率,诱变产生了自然界原本没有的或常规育种难以获得的新基因和性状,并且具有后代性状稳定快的特点,因此,在DNA水平上产生比同源或异源转基因更大的改变^[8-9]。常用的诱变方式包括甲基磺酸乙酯(EMS)处理和紫外辐照2种。其中,EMS是一种烷化剂,其诱变育种具有变异频率高、可改变不良性状、变异稳定、育种周期短、诱变频率高等优点,它可以直接作用于DNA的鸟嘌呤部分,引起高频率的点突变及少量染色体损伤,突变体多为显性,易于田间筛选,在农业生产中得到广泛应用^[10-14]。柳永强等^[15]、王森等^[16]、杨乾等^[17]利用EMS对马铃薯进行诱变,并获得了不同植株性状和产量性状的突变株系。紫外辐照是另一种常用的诱变育种方式,具有方便、经济、成功率高的特点,紫外辐照会导致DNA分子链上的2个相邻嘧啶核苷酸形成共价联结,产生嘧啶二聚体,阻断DNA复制,从而产生突变,形成基因组水平的永久性和可遗传性改变^[9,18-19]。陈爱芹^[20]用紫外灯对马铃薯愈伤组织进行辐射,发现随着处理时间的增加,愈伤组织的存活率和长势都呈明显下降趋势。SANTOS等^[21]用UVB辐射处理马铃薯,发现黄酮类化合物、过氧化氢酶和过氧化物酶有所增加,但叶绿素以及总蛋白含量有轻微下降。

上述研究多以改变马铃薯植株性状、产量性状和理化性状为目的,对品质性状的研究涉及较少。但根据现有市场的需求,研究不同诱变方式对马铃薯品质变化的影响,对马铃薯育种方向由高产向高品质转变具有重要意义。因此,本试验对黑龙江省常

见的东农303和中龙薯1号等2个马铃薯早熟品种进行研究,通过紫外辐照和EMS浸泡干预,旨在改变其性质、实现淀粉含量的提升,为黑龙江省马铃薯育种提供新手段,同时也为后续相关研究提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试马铃薯品种为东农303组培苗(D,由东北农业大学提供)和中龙薯1号组培苗(L,由黑龙江省农业科学院提供);甲基磺酸乙酯(EMS,购自美国Sigma公司)。培养基为MS+3%食用白糖+6.5 g/L琼脂,pH值5.8。蛭石(规格1~3 mm),购自河北燕南矿材厂。

1.2 试验方法

试验于2020—2023年在黑龙江省农垦科学院进行。2020年在黑龙江省农垦科学院马铃薯实验室进行组培苗的扩繁保存,将低温保存的试管苗1株剪成长约1 cm、带有1个腋芽的茎段,在广口瓶内继代培养,待试管苗长至9~10片叶时用于诱变处理。培养温度25℃,光照16 h/d。

诱变采用单因素随机区组设计,每个品种分别设置3个处理:对照(CK)、紫外辐照(Z)和EMS(E)处理,每个处理15个单株。EMS溶液用pH值5.8的0.01 mol/L磷酸缓冲液配制,采用过滤灭菌。取生长25 d健壮的马铃薯试管苗,剪取带1个腋芽的茎段。根据张洪亮等^[11]的研究,选用浓度为0.8% EMS溶液浸泡2 h,然后再用无菌水冲洗3~4次,转入培养基上。紫外线辐照处理:取生长25 d健壮的马铃薯试管苗,在超净工作台中的紫外灯(220 V, 25 W, 200~275 nm)下进行半死辐照处理,死亡数量达到50%以后,将剩余存活马铃薯植株的茎段切下,每茎段带1个腋芽,置于无菌广口瓶内,紫外灯(220 V, 25 W, 200~275 nm)下辐照,处理时间6 h。

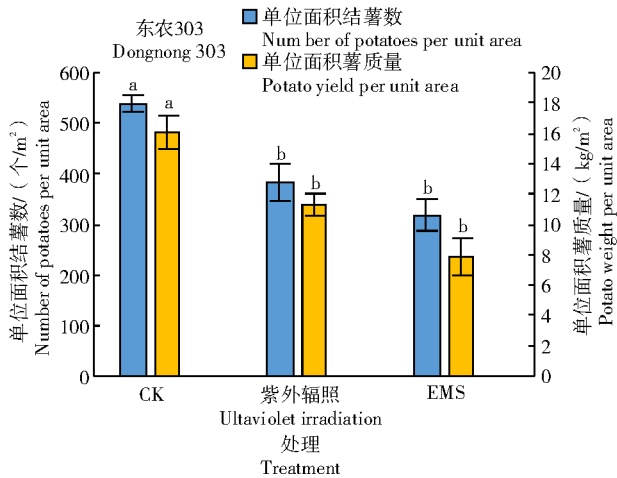
2021年将诱变后的组培苗进行扩繁,然后每个诱变单株处理选取20株强壮植株,移栽至黑龙江省农垦科学院经济作物研究所香坊试验基地温室(126°77'16"E, 45°73'37"N),试验基质为蛭石,采用常规管理。成活后调查保苗数,收获后调查产量和结薯数。2022年,将上一年度收获的原原种进行清选,在黑龙江省农垦科学院经济作物研究所阿城试验基地(126°58'16"E, 46°31'37"N)种植。该地属寒温带大陆性季风气候,年均日照2 442.1 h,年均活动积温2 946℃,年均降水量553.2 mm,无霜

期162 d,土壤类型为暗棕壤。因种子数量问题,本年度试验未设重复。2023年,将收获的原种清选后继续在该基地种植,每个单株处理设3次重复。两年度田间试验均为常规种植管理小区试验,小区垄长5 m,垄宽0.65 m,每垄播20株,播深8~10 cm,株距0.25 m,5垄区。小区面积16.25 m²。

调查产量、淀粉含量、商品薯率(块茎质量≥75 g占比)、二级薯率(块茎质量≥100 g占比)和一级薯率(块茎质量≥150 g占比)。

1.3 数据分析

用Microsoft Excel 2021进行数据整理和作图;用SPSS 22.0进行处理间差异显著性分析;多重比较采用Duncan's新复极差法进行。



不同小写字母表示不同处理在0.05水平差异显著。图2—4同

Different lowercase letters in the figure indicated significant differences among different treatments ($P < 0.05$). The same as Fig. 2-4

图1 不同诱变处理对马铃薯组培苗产量性状的影响

Fig.1 Effect of different mutagenesis treatments on yield traits per unit area of potato at tissue culture seedling stage

2.1.2 不同诱变处理对单株产量性状的影响 不同诱变处理对马铃薯组培苗单株产量性状的影响

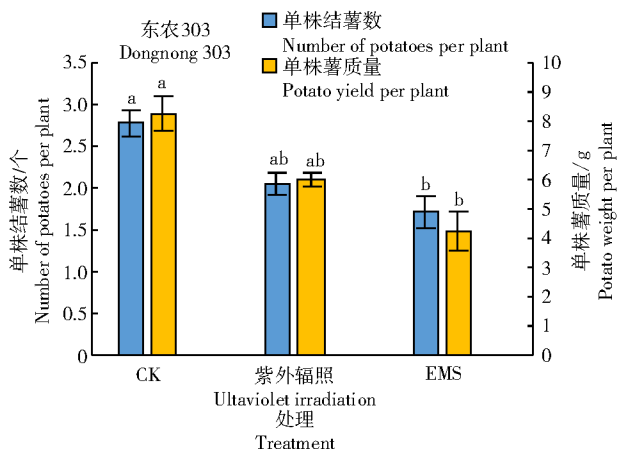


图2 不同诱变处理对马铃薯组培苗单株产量性状的影响

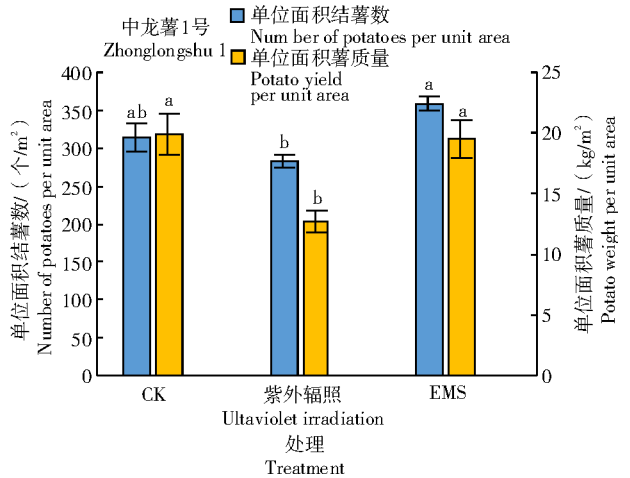
Fig.2 Effect of different mutagenesis treatments on yield traits per plant of potato at tissue culture seedling stage

从图2可以看出,东农303的2种诱变处理的

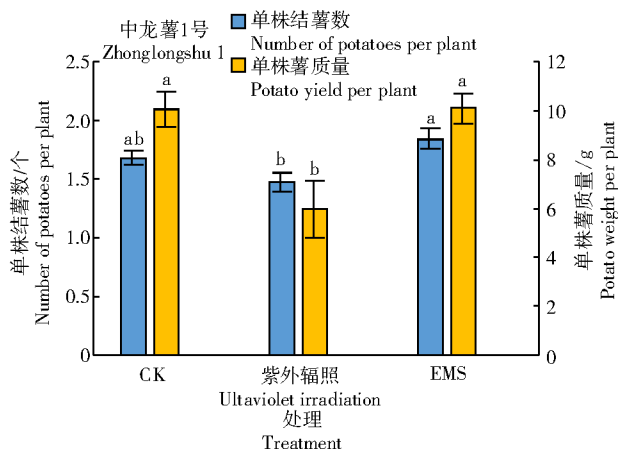
2 结果与分析

2.1 不同诱变处理对马铃薯组培苗的影响

2.1.1 不同诱变处理对单位面积产量的影响 从图1可以看出,东农303在单位面积结薯数和薯质量方面,2种诱变处理的结果均低于对照,并且达到了显著差异($P < 0.05$),表明无论是紫外辐照还是EMS浸泡,对东农303的单位面积结薯数和薯质量都表现出抑制作用。对于中龙薯1号,紫外辐照处理的单位面积结薯数和薯质量均低于对照,并且达到了显著差异($P < 0.05$),而EMS浸泡的结果与对照数值相近,说明紫外辐照对中龙薯1号的单位面积结薯数和薯质量有抑制作用。



如图2所示。



单株薯数和单株薯质量均低于对照,但只有EMS

浸泡处理达到了显著性差异水平,表明 EMS 浸泡对东农 303 的单株薯数和单株薯质量有抑制作用。中龙薯 1 号 2 种诱变处理的单株薯数和单株薯质量均低于对照,但只有紫外辐照达到了显著性差异水平($P < 0.05$),说明紫外辐照对中龙薯 1 号的单株薯数和单株薯质量有抑制作用。

由图 1、2 可以看出,马铃薯组培苗时期,在 2 个品种的 2 种诱变条件下,获得了结薯数、薯质量、单株薯质量和单株结薯数等指标的 16 个测定数值,统计出与对照达到差异显著的数值个数,通过计算得出 62.5% 的测定项目表现为抑制作用,37.5% 表现为无变化,起促进作用的为 0%。

2.2 不同诱变处理对马铃薯原原种的影响

2.2.1 不同诱变处理对马铃薯原原种产量的影响

由图 3 可知,东农 303 的 2 种诱变处理的产量均高于对照,但只有紫外辐照处理达到了显著性差异水平($P < 0.05$),表明紫外辐照促进了东农 303 产量的增加。相比之下,中龙薯 1 号的表现与东农 303 相反,在紫外辐照处理下与对照间产量也达到了显著性差异水平($P < 0.05$),但是产量低于对照,说明紫外辐照抑制了中龙薯 1 号产量的增加。

在商品薯率方面,不同处理对东农 303 和中龙薯 1 号的商品薯率没有显著影响,表明诱变处理并未改变 2 个品种的商品薯率。

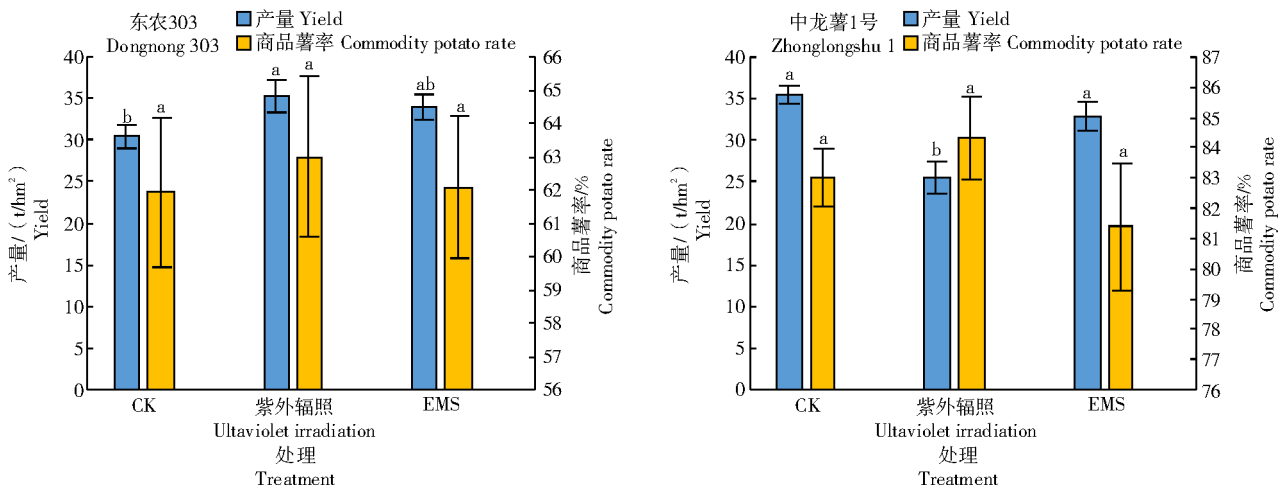


图 3 不同诱变处理对马铃薯原原种产量的影响
Fig.3 Effects of different mutagenesis treatments on yield data of potato at original species stage

2.2.2 不同诱变处理对马铃薯原原种淀粉含量及淀粉产量的影响

由图 4 可知,东农 303 的淀粉产量在紫外辐照和 EMS 浸泡处理下均高于对照,并且达到了显著性差异水平($P < 0.05$),说明不同诱变处理均对东农 303 的淀粉产量有提升作用。对

于中龙薯 1 号的淀粉产量,各处理间的差异不显著,表明各种诱变处理对中龙薯 1 号的淀粉产量变化没有影响;然而,在淀粉含量方面,紫外辐照的数值高于对照且达到了显著性差异水平,说明紫外辐照有利于中龙薯 1 号淀粉含量的提升。

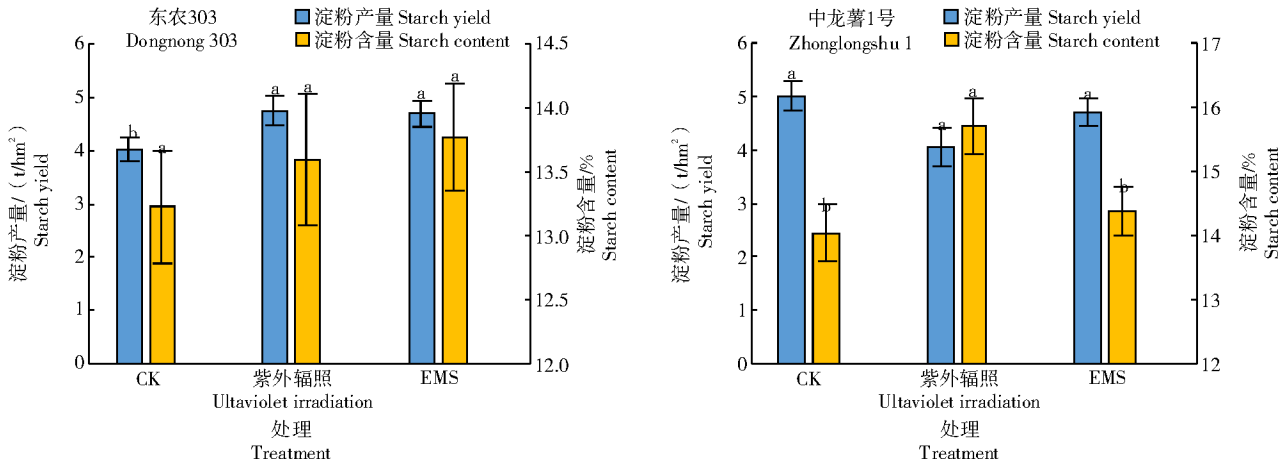


图 4 不同诱变处理对马铃薯原原种淀粉含量和淀粉产量的影响
Fig.4 Effects of different mutagenesis treatments on starch content and yield of potato at original species stage

由图 3、4 可以看出,马铃薯原原种时期,在 2 个品种的 2 种诱变条件下,获得了产量、商品薯率、淀粉产量和淀粉含量等指标的 16 个测定数值,统计出与对照达到差异显著的数值个数,通过计算得出 25% 的测定项目表现为促进作用,6.25% 表现为抑制作用,无明显作用的为 68.75%。

2.2.3 不同诱变处理对马铃薯原原种单株淀粉含量和产量性状的影响 从表 1 可以看出,在产量方面,东农 303 经紫外辐照处理的单株中有 12 个产量

高于对照,其中 4 个单株(Z_{15} 、 Z_8 、 Z_5 和 Z_3)的产量超过 40 t/hm^2 ,表现突出。而经 EMS 浸泡处理的单株中也有 12 个产量高于对照,其中 2 个单株(E_8 和 E_4)的产量超过 40 t/hm^2 ,同样表现突出。对于中龙薯 1 号,经紫外辐照处理的单株中仅有 1 个产量高于对照,且表现并不突出。EMS 浸泡处理的单株中有 3 个产量高于对照,其中 2 个单株的产量超过 40 t/hm^2 (E_2 和 E_9),表现突出。

表 1 不同诱变处理对马铃薯原原种时期单株淀粉含量和产量性状的影响
Tab.1 Effects of different mutagenesis treatments on single plant starch content and yield per plant of potato at original species stage

条件 Condition	处理 Treatment	产量/(t/hm^2) Yield		淀粉产量/(t/hm^2) Starch yield		淀粉含量/% Starch content	
		东农 303 Dongnong 303	中龙薯 1 号 Zhonglongshu 1	东农 303 Dongnong 303	中龙薯 1 号 Zhonglongshu 1	东农 303 Dongnong 303	中龙薯 1 号 Zhonglongshu 1
CK	CK	30.39	35.51	4.02	5.01	13.22	14.04
紫外辐照 UV Irradiation	Z_1	37.48	35.29	5.55	6.35	14.80	17.99
	Z_2	23.08	33.20	3.24	5.63	14.03	16.96
	Z_3	40.95	32.12	5.24	4.63	12.81	14.41
	Z_4	31.69	21.23	4.31	3.02	13.60	14.24
	Z_5	42.58	20.46	5.51	2.83	12.93	13.85
	Z_6	36.77	8.03	6.10	1.15	16.60	14.28
	Z_7	21.32	24.80	2.92	4.58	13.70	18.48
	Z_8	44.80	38.06	5.09	6.06	11.37	15.91
	Z_9	28.06	18.95	3.64	3.26	12.98	17.22
	Z_{10}	30.58	25.88	3.31	3.96	10.84	15.31
	Z_{11}	36.92	19.05	4.77	2.94	12.91	15.44
	Z_{12}	35.20	23.57	5.17	4.06	14.69	17.22
	Z_{13}	39.86	31.45	6.40	4.81	16.06	15.31
	Z_{14}	31.42	28.43	5.25	4.64	16.72	16.32
	Z_{15}	47.20	22.06	4.69	2.78	9.94	12.61
EMS 诱变 EMS Mutagenesis	E_1	30.95	26.34	4.57	3.29	14.75	12.51
	E_2	20.98	51.75	3.24	6.63	15.44	12.81
	E_3	35.48	31.69	4.62	4.05	13.02	12.78
	E_4	40.28	34.03	4.99	4.41	12.40	12.96
	E_5	32.18	34.22	4.48	5.68	13.92	16.60
	E_6	31.60	34.22	4.13	5.53	13.08	16.17
	E_7	29.42	27.97	4.44	4.09	15.10	14.63
	E_8	40.46	31.35	5.36	4.32	13.26	13.77
	E_9	37.14	40.18	5.43	6.20	14.63	15.44
	E_{10}	36.00	28.28	4.71	3.46	13.08	12.23
	E_{11}	36.40	32.28	5.35	4.89	14.69	15.16
	E_{12}	39.63	30.78	4.74	4.42	11.97	14.38
	E_{13}	38.00	23.75	5.71	3.70	15.03	15.59
	E_{14}	23.23	37.26	2.31	5.57	9.96	14.95
	E_{15}	38.55	28.43	6.27	4.48	16.25	15.76

在淀粉产量方面,东农 303 经紫外辐照处理的单株中有 11 个淀粉产量高于对照,其中 2 个单株(Z_{13} 和 Z_6)的淀粉产量超过 6 t/hm^2 ,表现突出。经 EMS 浸泡处理的单株中有 13 个淀粉产量高于对照,其中 1 个单株(E_{15})的淀粉产量超过 6 t/hm^2 ,表现突出。中龙薯 1 号经紫外辐照处理的单株中有 3 个淀粉产量高于对照,其中 2 个单株(Z_1 和 Z_8)的淀粉产量超过 6 t/hm^2 ,表现突出。经 EMS 浸泡处理的单株中有 5 个淀粉产量高于对照,其中 2 个单株(E_2 和 E_9)的淀粉产量超过 6 t/hm^2 ,表现突出。

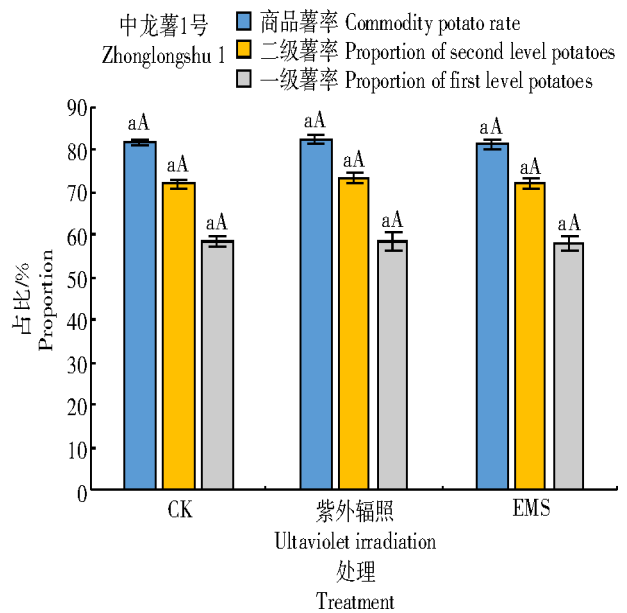
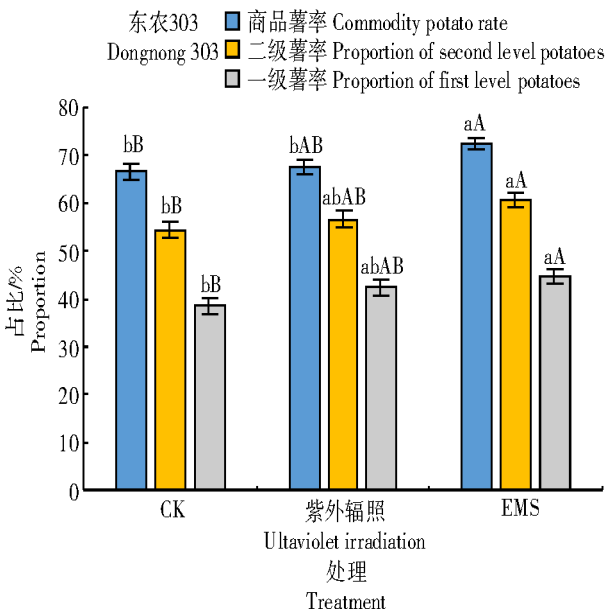
在淀粉含量方面,东农 303 经紫外辐照处理的单株中有 8 个淀粉含量高于对照,其中 3 个单株(Z_{14} 、 Z_6 和 Z_{13})的淀粉含量超过 16%,表现突出。经 EMS 浸泡处理的单株中有 9 个淀粉含量高于对照,其中 1 个单株(E_{15})的淀粉含量超过 16%,表现突出。中龙薯 1 号经紫外辐照处理的单株中有 13 个淀

粉含量高于对照,其中 6 个单株(Z_7 、 Z_1 、 Z_9 、 Z_{12} 、 Z_2 和 Z_{14})的淀粉含量超过 16%,表现突出。经 EMS 浸泡处理的单株中有 9 个淀粉含量高于对照,其中 2 个单株(E_5 和 E_6)的淀粉含量超过 16%,表现突出。

由于原原种时期受种子量的限制,没有进行重复处理,因此,无法进行显著性分析。因此,具有较好表现的单株,仅能说明在该方面存在可能性。在产量、淀粉产量和淀粉含量方面,分别出现了 8、7、12 个有益变异单株的可能性。

2.3 不同诱变处理对马铃薯原种的影响

2.3.1 不同诱变处理对马铃薯原种大小级别的影响 从图 5 可以看出,在不同诱变处理对马铃薯大小的影响中,东农 303 的 EMS 浸泡处理在各个分级上均高于对照,并且达到了极显著差异($P < 0.01$)。表明 EMS 浸泡处理能显著提升东农 303 的商品性。



不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著;不同大写字母表示不同处理间在 0.01 水平差异极显著。图 6 同
Different lowercase letters indicated significant differences among different treatments($P < 0.05$); different capital letters indicated extremely significant differences among different treatments($P < 0.01$). The same as Fig.6

图 5 不同诱变处理对马铃薯原种时期大小级别的影响
Fig.5 Effect of different mutagenesis treatments on the size and grade of potato at protospecies stage

对于中龙薯 1 号,不同诱变处理与对照间的差异均不显著,表明诱变处理并未对中龙薯 1 号的商品性产生明显的改变作用。

2.3.2 不同诱变处理对马铃薯原种产量性状的影响 由图 6 可知,东农 303 产量不同处理与对照相比差异不显著,说明 2 种诱变处理对东农 303 的产量均无显著影响;而在结薯数上,紫外辐照明显高于 EMS 浸泡,并且达到了显著差异($P < 0.01$),表明 EMS 浸泡对东农 303 的结薯数有抑制作用。

无论是产量还是结薯数,中龙薯 1 号诱变处理均低于对照。特别是在产量上,诱变处理组与对照达到了极显著差异水平($P < 0.01$);结薯数上也达到了显著差异水平($P < 0.05$)。说明对中龙薯 1 号进行的 EMS 浸泡和紫外辐照均会抑制产量和结薯数量的提升,其中紫外辐照的抑制作用更为明显。

从图 5、6 可以看出,马铃薯原种时期,在 2 个品种的 2 种诱变条件下,获得了商品性(因商品薯

率、一级薯率和二级薯率数据结论相似,合并为一个测试指标)、产量和结薯数等指标的10个测定数值,统计出与对照达到差异显著的数值个数,通

过计算得出15%的测定项目表现为促进作用,25%表现为抑制作用,无明显作用的为60%。

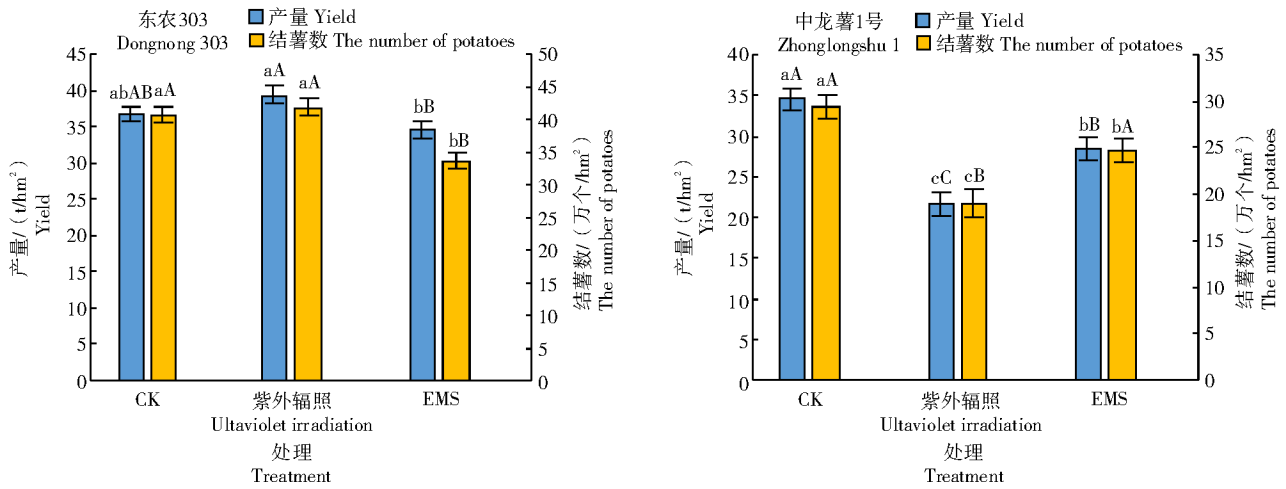


图6 不同诱变处理对马铃薯原种产量性状的影响
Fig.6 Effects of different mutagenesis treatments on yield trait of potato at protospecies stage

2.3.3 不同诱变处理对原种东农303商品性、产量和品质性状的影响 从表2可以看出,在东农303的商品性、产量和结薯数方面,对照与不同诱变方式下的各单株间没有显著差异。说明在这些测定项目上,不同诱变处理并未产生明显的改变作用。

东农303的淀粉产量对照低于单株DZ₄和

DZ₂,并且存在显著性差异($P < 0.05$),表明紫外辐照对单株DZ₄和DZ₂产生了有利于淀粉产量提升的改变。在淀粉含量方面,单株DZ₄的淀粉含量高于对照,并且达到了显著差异水平($P < 0.05$),说明东农303的紫外辐照处理中至少有1个单株表现出了淀粉含量显著提升的变异。

表2 不同诱变处理对原种东农303商品性、产量和品质性状的影响
Tab.2 Effects of different mutagenesis treatments on the commodity, yield, and quality traits of Dongnong 303 at protospecies stage

条件 Condition	处理 Treatment	商品薯率/% Commodity potato rate	一级薯率/% Proportion of first level potatoes	二级薯率/% Proportion of second level potatoes	产量/(t/hm ²) Yield	结薯数/ (万个/hm ²) Number of potatoes per hectare	淀粉产量/ (t/hm ²) Starch yield	淀粉含量/% Starch content
CK	CK	66.63abc	38.53a	54.39abcd	36.69abcde	40.47abcde	4.92cdef	13.36bcdefg
EMS 诱变 EMS mutagenesis	DE ₁	74.36ab	43.32a	59.41abcd	40.84abcde	40.61abcde	7.05bc	17.33abcd
	DE ₂	75.38ab	49.36a	67.87a	41.39abcde	35.49bcde	7.22bc	17.79abc
	DE ₃	72.00abc	53.83a	65.74abc	42.35abcd	42.67abcde	4.57cdef	11.08efg
	DE ₄	70.31abc	43.85a	56.01abcd	40.95abcde	41.64abcde	4.09def	9.66fg
	DE ₅	75.61ab	46.60a	60.97abcd	35.90abcde	34.87bcde	4.95cdef	14.66abcdefg
	DE ₆	70.85abc	44.64a	62.26abcd	34.08bcde	34.67bcde	4.05def	11.60defg
	DE ₇	70.70abc	44.45a	59.64abcd	31.18de	32.20bcde	3.87ef	12.81bcdefg
	DE ₈	73.88ab	38.73a	57.22abcd	33.28cde	28.61de	4.86cdef	13.45bcdefg
	DE ₉	72.48abc	44.23a	57.68abcd	33.80cde	31.90bcde	4.82cdef	15.07abcdef
	DE ₁₀	76.28ab	31.47a	56.96abcd	28.48de	27.18e	3.82ef	13.16bcdefg
	DE ₁₁	78.16a	52.54a	68.07a	30.34de	27.90de	5.65cdef	18.41ab
	DE ₁₂	70.37abc	34.21a	53.89abcd	27.87e	28.72de	3.96def	14.31abcdefg
	DE ₁₃	67.67abc	40.65a	60.61abcd	29.59de	29.64cde	3.21f	10.73efg
	DE ₁₄	73.23abc	53.92a	65.55abc	35.29abcde	34.56bcde	4.67cdef	13.14bcdefg
	DE ₁₅	65.53abc	49.31a	58.07abcd	31.19de	30.67bcde	3.32f	10.77efg

续表 2 不同诱变处理对原种东农 303 商品性、产量和品质性状的影响
 Tab.2 (Continued) Effects of different mutagenesis treatments on the commodity, yield, and quality traits of Dongnong 303 at protospecies stage

条件 Condition	处理 Treatment	商品薯率/% Commodity potato rate	一级薯率/% Proportion of first level potatoes	二级薯率/% Proportion of second level potatoes	产量/(t/hm ²) Yield	结薯数/ (万个/hm ²) Number of potatoes per hectare	淀粉产量/ (t/hm ²) Starch yield	淀粉含量/% Starch content
紫外辐照 UV irradiation	DZ ₁	55.90c	32.12a	42.65d	34.51abcde	47.18abc	3.20f	8.96g
	DZ ₂	60.82abc	37.33a	52.03abcd	48.03ab	53.64a	8.60ab	18.00ab
	DZ ₃	59.36bc	33.50a	45.38cd	40.20abcde	46.56abc	5.91bcdef	14.70abcdefg
	DZ ₄	68.65abc	45.28a	58.25abcd	48.42a	47.90ab	9.65a	20.15a
	DZ ₅	66.85abc	41.20a	55.44abcd	36.38abcde	39.18abcde	6.39bcde	17.31abcd
	DZ ₆	72.97abc	48.11a	62.87abcd	41.00abcde	33.64bcde	6.55bcde	16.11abcde
	DZ ₇	72.67abc	51.83a	62.90abcd	38.66abcde	38.87abcde	4.55cdef	11.85cdefg
	DZ ₈	72.48abc	49.27a	62.76abcd	37.74abcde	39.08abcde	4.61cdef	13.29bcdefg
	DZ ₉	71.64abc	45.24a	62.08abcd	36.29abcde	34.56bcde	4.91cdef	12.73bcdefg
	DZ ₁₀	63.94abc	34.78a	51.12abcd	37.45abcde	41.54abcde	6.02bcdef	16.60abcde
	DZ ₁₁	63.47abc	39.38a	55.07abcd	30.52de	34.26bcde	3.48f	11.40defg
	DZ ₁₂	78.51a	50.04a	65.97ab	38.11abcde	35.38bcde	5.73cdef	14.73abcdefg
	DZ ₁₃	64.45abc	46.28a	58.31abcd	40.75abcde	44.92abcd	6.79bcd	16.59abcde
	DZ ₁₄	78.68a	44.44a	67.58a	47.33abc	46.36abc	6.41bcde	14.00bcdefg
	DZ ₁₅	61.40abc	36.79a	46.94bcd	30.92de	39.59abcde	4.19def	13.56bcdefg

注: 同列不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著。下表同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences among different treatments at the 0.05 level. The same as below.

2.3.4 不同诱变处理对原种中龙薯 1 号商品性、产量和品质性状的影响 由表 3 可知, 在中龙薯 1 号的商品性方面, 对照与不同诱变方式下的各单株间

差异不显著。说明不同诱变处理对中龙薯 1 号的商品性没有改变作用。

表 3 不同诱变处理对原种中龙薯 1 号商品性、产量和品质性状的影响
 Tab.3 Effects of different mutagenesis treatments on the commodity, yield, and quality traits of Zhonglongshu 1 at protospecies stage

条件 Condition	处理 Treatment	商品薯率/% Commodity potato rate	一级薯率/% Proportion of first level potatoes	二级薯率/% Proportion of second level potatoes	产量/(t/hm ²) Yield	结薯数/ (万个/hm ²) Number of potatoes	淀粉产量/ (t/hm ²) Starch yield	淀粉含量/% Starch content
CK	CK	81.75ab	58.39ab	71.88ab	34.61abc	29.45abcd	4.38abcdef	12.42bcd
EMS 诱变 EMS mutagenesis	LE ₁	82.07ab	50.54ab	71.81ab	8.55g	8.31fh	1.38g	15.05abc
	LE ₂	76.15ab	48.97ab	66.06ab	26.54abcdef	24.61abcdefg	3.77abcdefg	14.58abcd
	LE ₃	79.16ab	56.42ab	68.79ab	27.87abcdef	24.21abcdefgh	3.38bcdefg	11.98bcd
	LE ₄	78.99ab	54.62ab	70.48ab	33.06abc	29.02abcd	3.97abcdefg	11.49bcd
	LE ₅	77.56ab	54.33ab	69.13ab	26.75abcdef	25.02abcde	3.63bcdefg	13.60abcd
	LE ₆	84.10ab	55.05ab	70.60ab	32.45abcd	28.00abcd	4.07abcdefg	12.52bcd
	LE ₇	79.89ab	56.18ab	71.38ab	30.46abcd	27.18abcd	3.27cdefg	10.99bcd
	LE ₈	85.22ab	69.98a	78.77ab	22.72abcdefg	18.98abcdefgh	2.78cdefg	11.93bcd
	LE ₉	77.77ab	55.64ab	68.85ab	27.9abcdef	24.62abcdef	3.41bcdefg	11.99bcd
	LE ₁₀	77.05ab	52.62ab	66.98ab	26.48abcdef	23.59abcdefgh	2.68cdefg	9.56cd
	LE ₁₁	79.83ab	54.48ab	70.86ab	33.59abc	30.26abc	4.44abcde	13.96abcd
	LE ₁₂	83.17ab	66.72a	78.08ab	28.94abcde	22.57abcdefgh	3.05cdefg	10.58bcd
	LE ₁₃	82.52ab	58.32ab	72.92ab	34.40abc	30.26abc	5.28abc	15.26abc
	LE ₁₄	87.46ab	62.63ab	75.69ab	39.74a	32.20ab	6.10ab	15.37abc
	LE ₁₅	88.43a	70.96a	81.86a	27.74abcdef	20.92abcdefgh	3.41bcdefg	12.24bcd

续表3 不同诱变处理对原种中龙薯1号商品性、产量和品质性状的影响
 Tab.3(Continued) Effects of different mutagenesis treatments on the commodity, yield, and quality traits of Zhonglongshu 1 at protospecies stage

条件 Condition	处理 Treatment	商品薯率/% Commodity potato rate	一级薯率/% Proportion of first level potatoes	二级薯率/% Proportion of second level potatoes	产量/(t/hm ²) Yield	结薯数/ (万个/hm ²) Number of potatoes	淀粉产量/ (t/hm ²) Starch yield	淀粉含量/% Starch content
紫外辐照 UV irradiation	LZ ₁	81.36ab	53.71ab	70.60ab	23.74abcdefg	22.87abcdefgh	2.33defg	9.50cd
	LZ ₂	82.76ab	56.59ab	76.39ab	23.75abcdefg	22.56abcdefgh	3.20cdefg	9.55cd
	LZ ₃	82.49ab	55.01ab	70.26ab	33.74abc	27.69abcd	6.36a	18.75a
	LZ ₄	83.12ab	55.92ab	73.63ab	11.59fg	10.67efgh	1.55fg	14.27abcd
	LZ ₅	83.88ab	58.83ab	66.12ab	15.71defg	13.54defgh	1.32g	8.61d
	LZ ₆	84.70ab	66.28a	77.09ab	15.60defg	13.13defgh	1.86efg	11.55bcd
	LZ ₇	84.25ab	63.58ab	75.35ab	21.58bcdefg	18.05bcdefgh	2.47cdefg	11.63bcd
	LZ ₈	84.72ab	70.30a	77.65ab	27.31abcdef	24.82abcde	3.19cdefg	12.05bcd
	LZ ₉	82.11ab	40.17b	75.43ab	18.10cdefg	16.31bcdefgh	2.52cdefg	13.02abcd
	LZ ₁₀	89.39a	63.25ab	82.54a	19.33cdefg	14.87cdefgh	3.21cdefg	15.97ab
	LZ ₁₁	84.94ab	63.79ab	76.72ab	12.25efg	10.15efgh	1.42g	12.33bcd
	LZ ₁₂	76.80ab	56.82ab	69.60ab	22.09bcdefg	19.59abcdefgh	2.73cdefg	12.46bcd
	LZ ₁₃	83.17ab	66.92a	76.62ab	21.65bcdefg	16.41bcdefgh	2.56cdefg	12.82abcd
	LZ ₁₄	73.87b	52.37ab	64.08b	37.33ab	35.28a	4.84abcd	13.02abcd
	LZ ₁₅	79.09ab	52.76ab	66.95ab	21.02bcdefg	19.49abcdefgh	3.01cdefg	14.52abcd

在中龙薯1号的产量上,对照高于单株LZ₅、LZ₆、LZ₁₁、LZ₄、LE₁,且达到差异显著水平;结薯数上,对照高于单株LZ₄、LZ₁₁、LE₁,且达到差异显著水平($P<0.05$);淀粉产量上,对照高于单株LZ₁₁、LE₁、LZ₅,且达到差异显著水平($P<0.05$)。说明在产量和淀粉产量上,有部分单株产生了抑制性改变。

在淀粉含量方面,单株LZ₃高于对照且达到差异显著水平,说明中龙薯1号的紫外辐照处理中有1个单株有明显提升淀粉含量方向的变异。

3 结论与讨论

本研究表明,诱变处理对马铃薯的产量及淀粉含量有一定的改变作用。从试验测定项目的量角度分析,起抑制作用的数据占38.6%,促进作用的占11.4%,无作用的占50.0%。表明突变概率约为50.0%,其中不利突变的概率大于有利突变的概率。

参与试验的2个品种在相同的诱变条件下表现并不相同。从测定项目的量角度分析,东农303的突变率比中龙薯1号高出9个百分点,有益突变高出14个百分点,体现了品种的差异性和诱变的随机性。因此,品种的选择对诱变方向有较大的影响,在本试验中,东农303的诱变效果更佳。从诱变方式

角度来看,紫外辐照的突变率比EMS浸泡高出9个百分点,有益突变高出14个百分点,说明紫外辐照的诱变效果优于EMS浸泡。分析原因可能是由于EMS使用的参考浓度未达到本试验条件下的最佳诱变临界值。下一步试验中应考虑进行EMS浓度的半致死试验,以确定EMS的最佳浓度。

本试验发现,在原原种和原种时期均有有利于淀粉含量提升的单株,但其对应的产量却受到抑制。由此可知,马铃薯品种的产量和淀粉含量2种性状之间可能存在负相关性。这一结论与张立菲等^[22]的研究结果一致,说明在提高淀粉含量的同时,可能无法稳定产量。因此,不能仅通过提高淀粉含量的方式来增加淀粉产量。

本试验中获得了2个在淀粉含量上有利的突变单株。尽管在综合产量性状后,与对照相比并没有明显优势,但其淀粉含量均超过18%,在早熟品种中具有较大的竞争优势。其产量方面的劣势有望通过栽培方式的改进得到弥补。这2个单株的出现,有望解决黑龙江省现有早熟品种淀粉含量低的问题,未来具有较好的应用前景。

参考文献:

[1] 徐宁,张洪亮,张荣华,等.黑龙江垦区马铃薯产业现状及发展方向[J].中国马铃薯,2021,35(4):364-370.

XU N,ZHANG H L,ZHANG R H, et al. Present situation and

- development trend of potato industry in Heilongjiang reclamation area[J]. Chinese Potato Journal, 2021, 35(4): 364-370.
- [2] 许亚坤, 徐宁, 张洪亮, 等. 马铃薯主粮化在黑龙江垦区实施进展及存在问题[J]. 中国马铃薯, 2020, 34(2): 121-125.
XU Y K, XU N, ZHANG H L, et al. Progress and problems in implementation of the strategy of potato as a main staple food crop in Heilongjiang reclamation area[J]. Chinese Potato Journal, 2020, 34(2): 121-125.
- [3] 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.
ZHANG Y H, HE C Y, XIE C H, et al. The protoplast carrier technology applied in potato breeding[J]. Chinese Agriculture Science Bulletin, 2005, 21(9): 43-46.
- [4] 梁劬, 高美须. 核技术在农业上应用现状和展望[J]. 核农学报, 2024, 38(1): 1-10.
LIANG Q, GAO M X. Status and prospect of nuclear application for food and agriculture[J]. Journal of Nuclear Agriculture Sciences, 2024, 38(1): 1-10.
- [5] SPENCER-LOPE M M, FORDTER B P, JANKULOSKI L. Manual of mutation breeding[M]. Rome: FAO/IAEA, 2018.
- [6] YALI W, MITIKU T. Mutation breeding and its importance in modern plant breeding[J]. Journal of Plant Sciences, 2022, 10(2): 64.
- [7] 王怀利. “芽变育种”在马铃薯种选育上的应用[J]. 种子, 2014, 33(10): 102-103.
WANG H L. Application of bud mutation in the breeding of potato[J]. Seed, 2014, 33(10): 102-103.
- [8] 韩云哲, 杨学智, 柳洪良, 等. 稻花香 2 号 EMS 诱变穗、粒突变体筛选及其农艺性状分析[J]. 农业科技通讯, 2023(11): 66-70.
HAN Y Z, YANG X Z, LIU H L, et al. Screening of spike and grain mutants induced by EMS in Daohuaxiang 2 and analysis of their agronomic traits[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2023(11): 66-70.
- [9] 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.
LIU Z Y, HUANG X Q, TANG Z L, et al. Progress in mutation breeding of potato[J]. Southwest China Journal of Agricultural Science, 2010, 23(6): 2124-2128.
- [10] 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.
HAN W B, LIU L X, GUO H J, et al. Advance of new techniques in wheat mutation breeding[J]. Journal of Triticeae Crops, 2005, 25(6): 125-129.
- [11] 张洪亮, 许庆芬, 张荣华, 等. EMS 诱变马铃薯脱毒试管苗适宜剂量与效应的研究[J]. 现代化农业, 2017(3): 36-38.
ZHANG H L, XU Q F, ZHANG R H, et al. Study on the appropriate dose and effect of EMS mutation of virus-free potato test-tube seedlings[J]. Modernizing Agriculture, 2017(3): 36-38.
- [12] 蒋万, 张忠武, 段赞赞, 等. 豇豆 EMS 诱变育种技术要点[J]. 南方园艺, 2023, 34(2): 32-34.
JIANG W, ZHANG Z W, DUAN Z Z, et al. Key points of ethyl methanesulfonate (EMS)-based *Vigna sinensis* breeding [J]. Southern Horticulture, 2023, 34(2): 32-34.
- [13] 王付华, 李自超, 王亚, 等. 利用 EMS 诱变创制抗除草剂粳稻新种质[J]. 河南农业科学, 2021, 50(4): 8-16.
WANG F H, LI Z C, WANG Y, et al. New herbicide-resistant japonica rice germplasms created by EMS mutagenesis[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2021, 50(4): 8-16.
- [14] 聂萌恩, 柳青山, 范昕琦, 等. EMS 诱变对高粱种子萌发及农艺性状的影响[J]. 山西农业科学, 2021, 49(7): 802-806.
NIE M N, LIU Q S, FAN X Q, et al. Effects of EMS mutagenesis inducing treatment on seed germination and agronomic traits of *Sorghum*[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2021, 49(7): 802-806.
- [15] 柳永强, 胡新元, 李掌, 等. EMS 诱导四倍体马铃薯陇薯 7 号无性突变群体建立与分析[J]. 农业科学与技术, 2016, 17(8): 1780-1785.
LIU Y Q, HU X Y, LI Z, et al. Construction and analysis of asexual mutant population of tetraploid potato Longshu 7 induced by EMS[J]. Agricultural Science & Technology, 2016, 17(8): 1780-1785.
- [16] 王淼, 马晓梅, 郭晋. 马铃薯茎段 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 射线及 EMS 诱变技术的研究[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(3): 45.
WANG M, MA X M, GUO J. Study on mutation technology of potato stem segment by $^{60}\text{Co-}\gamma$ ray and EMS[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2010, 16(3): 45.
- [17] 杨乾, 张峰, 王蒂, 等. EMS 诱变筛选马铃薯茎段离体耐盐变异体[J]. 核农学报, 2011, 25(4): 673-678.
YANG Q, ZHANG F, WANG D, et al. Selection of salt-tolerant variants from potato *in vitro* micro-cuttings induced by EMS[J]. Journal of Nuclear Agriculture Sciences, 2011, 25(4): 673-678.
- [18] 李婕, 李敏, 汪玲玲, 等. 高产纤维素酶真菌的筛选鉴定与紫外诱变选育研究[J]. 饲料研究, 2023, 46(17): 76-81.
LI J, LI M, WANG L L, et al. Screening and identification of high-yield cellulase fungi and study on UV mutagenesis breeding[J]. Feed Research, 2023, 46(17): 76-81.
- [19] LEE T, KIM K D, KIM J M, et al. Genome-wide association study for ultraviolet-B resistance in soybean (*Glycine max* L.) [J]. Plants, 2021, 10(7): 1335.
- [20] 陈爱芹. 紫外线诱变处理对马铃薯茎段再生植株生理生化变异的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
CHEN A Q. Physiological and biochemical variation of the potato stem section regeneration plants by ultraviolet radiation [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2008.
- [21] SANTOS I, FIDALGO F, ALMEIDA JM, et al. Biochemical and ultrastructural changes in leaves of potato plants grown under supplementary UVB radiation[J]. Plant Science, 2004, 167(4): 925-935.
- [22] 张立菲, 秦昕, 石瑛, 等. 马铃薯不同品种产量及淀粉含量的差异比较[J]. 中国马铃薯, 2008, 22(4): 216-218.
ZHANG L F, CHEN X, SHI Y, et al. Comparison of differences in yield and starch content among different potato varieties[J]. Chinese Potato Journal, 2008, 22(4): 216-218.