



大豆诱变育种技术的研究进展

马晓宇^{1,2},王永斌²,张金波²,谭巍巍²,肖晖³,韩新春⁴,刘昭军²,王广金³

(1. 黑龙江大学 生命科学学院/农业微生物技术教育部工程研究中心/黑龙江省寒区植物基因与生物发酵重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086;
2. 黑龙江省农业科学院 生物技术研究所/黑龙江省作物与家畜分子育种实验室,黑龙江 哈尔滨 150028; 3. 黑龙江省农业科学院,黑龙江 哈尔滨
150086; 4. 黑河市爱辉区农业局,黑龙江 黑河 164300)

摘要:随着经济的发展,人们对大豆需求量及品质要求越来越高,培育高产量、多抗性、优质大豆品种迫在眉睫。然而受生态条件的限制,优质大豆种质资源材料匮乏,遗传背景狭窄,而且大豆自然变异过程繁琐且漫长,仅依靠大豆自发突变获得优质遗传材料十分困难,因此利用诱变技术创制优质、高产、多抗新种质是发展大豆产业的有效手段之一。诱变育种技术与常规育种相比,更有利于提高基因变异频率,扩大育种选择范围,高通量筛选有益突变,促进优良性状重组等,能够在短时间内获得性状丰富的突变体,解决种质资源遗传基础狭窄的瓶颈问题,广泛应用于优良性状的大豆新品种选育。本文概述了化学诱变、物理诱变的原理、种类及特点,总结归纳了国内外大豆种质创新中常用的诱变方法和技术优势,展望未来大豆诱变育种技术的应用前景,为大豆育种实践提供参考与启发。

关键词:大豆;育种;诱变育种技术;应用

Research Progress of Mutation Breeding Technology in Soybean

MA Xiao-yu^{1,2}, WANG Yong-bin², ZHANG Jin-bo², TAN Wei-wei², XIAO Hui³, HAN Xin-chun⁴, LIU Zhao-jun², WANG Guang-jin³

(1. School of Life Sciences, Heilongjiang University/Engineering Research Center of Agricultural Microbiology Technology, Ministry of Education/Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Plant Genetic Engineering and Biological Fermentation Engineering for Cold Region, Harbin 150080, China; 2. Institute of Biotechnology, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop and Livestock Molecular Breeding of Heilongjiang Province, Harbin 150028, China; 3. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 4. Agriculture Bureau of Aihui District in Heihe, Heihe 164300, China)

Abstract: With the development of economy, people have higher demand for soybean and higher quality, so it is urgent to cultivate soybean varieties with high yield, multi-resistance and high quality. Due to ecological constraints, the high-quality soybean germplasm resources are scarce and they have narrow genetic background. Furthermore the process of natural variation in soybeans is tedious and lengthy, it becomes very difficult to obtain high-quality genetic material from spontaneous mutations. Therefore, using mutagenesis technology to create new germplasm with high quality, high yield and multiple resistance is one of the effective means to develop soybean production. Compared with conventional breeding, mutation breeding technology can improve genetic variation frequency and expand the scope of the breeding selection, select high throughput beneficial mutations, promote the advantages of excellent characters restructuring. Thus, the mutant with rich characters can be obtained in a short time to solve the bottleneck problem of narrow genetic basis of germplasm resources, and it is widely used in the breeding of new soybean varieties with good characters. This paper reviewed the application mechanism, category and feature of chemical mutagenesis, physical mutagenesis, summary the common mutation methods frequently used and technical advantages in soybean germplasm innovation at home and abroad, predict the application prospect of the future application and development soybean mutagenesis breeding technology, and to provide reference for production practice in soybean.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merr.; breeding; mutagenesis breeding technology; application

大豆[*Glycine max*(L.) Merr.]是最重要的豆科作物之一,是生活食品、动物饲料、工业原料的主要原始材料^[1]。随着世界人口的日益增长,对大豆产量、抗逆性、抗病性等性状有了更高的需求。因此在现有耕地面积上,培育并应用高产、抗逆性、抗病性优良的大豆品种,是发展大豆产业并满足人类

发展需求的根本。由于我国大豆单产低,总产量增长速度缓慢,自1996年后中国大豆进口量逐渐增加,对外依存度高达85%,其主要原因是大豆种质资源创新利用不足,育种亲本亲缘关系较近,遗传基础狭窄,导致品种的产量、品质潜力提升较慢,很难选育出突破性品种。我国作为世界最大的大豆

收稿日期:2022-10-12

基金项目:国防科工局核能开发科研项目“核辐射作物品种改良与害虫防控”;黑龙江省科研院所科研业务费项目(CZKYF2021-2-C018, CZKYF2022-1-B013);黑龙江省“百千万”工程项目(2019ZX16B01);黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CS01-10);黑龙江省农业科学院2020年度院级科研项目(2019SJ002)。

第一作者:马晓宇(1996—),女,硕士研究生,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:mxy7sw@163.com。

通讯作者:王广金(1962—),男,博士,研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:gwj1962@126.com;

刘昭军(1974—),男,博士,研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:liuzhaojun7@aliyun.com。

进口国,亟待培育高产、优质、耐逆、广适性大豆新品种。

目前常用的育种方法有单倍体育种、多倍体育种、杂交育种、基因工程育种、诱变育种。诱变育种是指通过人为控制化学、物理因素诱导植物,使其发生遗传变异,从可遗传变异性状中挑选出有利目标性状,最终培育出新品种或种质资源的方法。诱变育种突变频率高于自然突变频率千倍以上,在农业生产中应用诱变育种技术,可以大幅度增加农产品的产量和收获效率,进而更好地促进农业经济发展^[2]。

人工诱变育种技术是改良作物种质资源和遗传育种的重要方式,本文对化学诱变和物理诱变的机理及其在大豆育种中的应用进行了总结,并对其应用前景进行展望,以期为提高大豆诱变育种效率提供帮助,从而促进我国大豆产能提升。

1 化学诱变

化学诱变是指化学药剂与遗传物质发生生物化学反应,导致基因发生点突变^[3]。化学诱变在作物改良上具有独特的作用,是创造优异种质的理想手段,诱变剂和生物体内遗传物质发生作用,使其后代 DNA 结构变异,多为单碱基突变。化学诱变突变频率高、变异范围广、种类多,容易获得新的生物性状^[4]。化学诱变剂的种类丰富,常用的化学诱变剂主要有烷化剂、嵌入剂、叠氮化物、碱基类似物、抗生素、其它诱变剂等。在大豆育种中,常见的化学诱变剂有甲基磺酸乙酯(EMS)、叠氮化钠(NaN_3)、平阳霉素(PYM)。

1.1 甲基磺酸乙酯(EMS)诱变

甲基磺酸乙酯(EMS)是烷化剂中的强效诱变剂之一,诱变作物产生突变的范围广,同时不易使染色体畸变。EMS 作用于 DNA 鸟嘌呤 N-7 位点,可以诱导 DNA 发生两种遗传变异效应,一种是胞嘧啶被胸腺嘧啶和烷化鸟嘌呤配对形成的基因代替,另一种是鸟嘌呤的 N-27 被烷基活化后糖苷键断裂引起脱嘌呤反应^[5]。

EMS 能诱发产生高密度的系列等位基因点突变,不同剂量的 EMS 可导致诱变材料产生不同程度的变异,基因型不同也会影响 EMS 诱变频率的大小。大豆分枝数、株高、荚数等农艺性状的遗传变异系数大,可遗传变异程度高,因此,EMS 诱变可用于大豆突变体库的建立,为大豆品种改良提供新的种质资源,也有助于大豆功能基因组的研究。孟永

杰等^[6]与张鑫等^[7]利用 EMS 诱变不同大豆品种,分别构建了南豆 12 与天隆一号的大豆突变体库。Zhang 等^[8]通过 EMS 诱变构建了大豆突变体库,利用全基因组测序绘制了 1 044 份大豆突变体种质的全基因组突变图谱,并建立了大豆突变图谱网站 ISOYBEAN(WWW.ISOYBEAN.ORG),促进 EMS 突变体库在大豆正向和反向遗传学研究中的利用。

EMS 诱变效率高、负作用小、易操作,目前已被广泛应用于大豆的诱变育种工作中,如选育冀豆 8 号、化诱 5 号、科新 3 号等育种。EMS 诱变能创造可遗传的优良变异,诸如产量、品质和雄性不育性等,是创造植物遗传群体多样性的有效方法,可用于大豆相关遗传研究。Zhou 等^[9]对 103 份大豆种子进行了 EMS 诱变处理并进行种质相关性分析, M_3 代中发现 14 株突变体种子具有稳定的蛋白质、油脂、糖和脂肪酸等成分组成性状,为改良大豆种子组成性状研究奠定基础。Espina 等^[10]利用不同浓度的 EMS 处理大豆品系 JTN-5203 进行大豆表型鉴定筛选,研究分析 M_2 代群体表型变异值,评估论证了突变体下一代的遗传力,在未来大豆育种的计划中可充分利用具有优异性状的突变体,以提高大豆总产量。棕榈酸作为商品豆油中的主要饱和脂肪酸,高棕榈酸含量可以使豆油的稳定性提高,但也使人类冠心病发病率提高。Zhou 等^[11]以 EMS 诱变的 Forrest 和 PI88788 大豆品种为试验材料,研究发现 TEs 家族中的 *GmFATB* 突变导致低软脂酸(低 5.6%)和高油酸(高 36.5%),此发现为大豆高油酸和低棕榈酸含量育种提供基础。张湘^[12]利用 EMS 诱变冀豆 17 获得了 1 株有一定的天然异交率的大豆雄性不育突变体 5053,为大豆的杂种优势利用和轮回选择育种奠定基础。

研究发现 EMS 诱变剂具有较强的挥发性和致癌性,对人体更具有危险性,常用 5% 硫代硫酸钠作为解毒剂,在操作的过程中应注重防护,严格遵守试验规则。

1.2 叠氮化钠(NaN_3)诱变

叠氮化钠(NaN_3)属于叠氮化物诱变剂,是一种呼吸抑制剂,主要以碱基替换方式影响 DNA 的正常合成过程,染色体畸变的概率较低,容易获得具有稳定遗传性的突变体,且在酸性条件下诱导效率最高^[13]。研究发现 NaN_3 仅作用于植物体中半胱氨酸合成酶,使其发生突变,是一种高效、无毒且安全的植物突变化学诱变剂^[14]。

NaN_3 可以提高作物的突变频率,目前已广泛应

用于多种作物农艺性状改良和基因功能验证。生物技术的发展优化了 NaN_3 突变体的鉴定过程,转录组学分析可用于研究大豆抗性的分子机制,经研究发现 NaN_3 可以使大豆 M_1 代超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性增强,有利于植物体清除因胁迫产生的多余自由基,使植物体更好地抵御外界环境胁迫且株高明显增长^[15],通过 NaN_3 诱变技术分析大豆产生抗性的分子机制有利于大豆抗性基因的挖掘。 NaN_3 诱变是作物提高抗逆性的有效途径, NaN_3 可抑制组培苗能量补给,田鑫等^[16] 对大豆幼苗进行了 NaN_3 诱变处理,测定诱变大豆幼苗的生理生化指标,表明其耐低温性与耐盐性显著提高。此外,张俐俐等^[17] 用 NaN_3 诱变处理黑农 44 大豆并获得了可稳定遗传的抗草甘磷 M_4 突变植株。

雄性不育系在自然界中比较少见,利用 NaN_3 可诱导不同作物产生雄性不育突变体。李曙光等^[18] 筛选 NaN_3 诱变的南农 86-4 突变体,获得雄性不育突变体 NJS-1H,研究发现其雄性不育性受 1 对隐性核基因控制,为进一步研究败育机制与发掘育性基因奠定基础。经 NaN_3 诱变的大豆材料会出现正向或反向的可育性遗传突变体。

诱变的最终目的是获得优质的生长性状,优化生理生化指标以提升大豆食用品质,研究表明经 NaN_3 诱变处理的大豆品种东农 42 连续自交 7 代后,出现可稳定遗传的矮化性状,同时成熟种子蛋白质含量比东农 42 高 2.06%^[19]。钱玉源等^[20] 发现黑农 37、东农 42 号、东农 92-07、抗线 2 号等 NaN_3 诱变后代株系中出现了矮化表型,其中可稳定遗传的矮秆突变体 HK808 株高仅为野生型东农 42 的 50%,这将为大豆理想株型及窄行矮秆密植模式的研究提供理论支持。

NaN_3 诱变效率高, M_1 代生理损伤小、便捷、低成本,是一种安全而高效的化学诱变剂。 NaN_3 诱变已广泛应用于大豆性状改良中,但突变的无方向性增加了诱变后代筛选难度,在一定程度上限制了 NaN_3 诱变育种速度;随着测序和分子标记技术可在大豆育种中有效选择目的基因,提高分子水平变异的检测能力是提高诱变育种进程的关键。

1.3 平阳霉素(PYM)诱变

平阳霉素(PYM)是一种抗生素类诱变剂,PYM 与 EMS 和 NaN_3 相比,染色体畸变的频率更高,且诱变造成的 DNA 结构损伤不可恢复^[14]。PYM 主要诱导染色体片段发生畸变,由于诱变的过程有抑制和

损伤因素的存在,有益突变率低,生理损伤抑制植物各阶段的生长。由诱变引起的遗传性状随机性较大且多为隐性性状,不易被检测^[21]。

PYM 多应用于水稻、小麦、烟草等农作物育种中,且获得了较好的诱变效果^[22]。PYM 在大豆诱变育种中的研究较少,用不同浓度的 PYM 处理合丰 25、吉林 20 号、长安 4 号大豆品种,发现 M_2 质量性状、株高以及成熟期变异度较高, PYM 诱变比 EMS 诱变效应更为显著,因此,在大豆诱变育种中使用 PYM 诱变剂具有一定的研究空间^[23]。

2 物理诱变

物理诱变的机理主要是电子或带电粒子中的能量传递给目标 DNA,破坏生物体内正常的物质合成,使 DNA 分子受到损伤^[24]。物理诱变突变植株稳定,且效果明显,容易出现微突变和有益突变^[25]。物理诱变多产生隐性突变,诱变性状在 F_1 代不能显示出来,多在 F_2 代开始显示出来,且可以稳定遗传,在 F_3 代可获得稳定的新遗传性状表达植株^[26]。物理诱变为提高自然突变率提供了便利的方式,扩大遗传变异性并增加了获得优良特性的概率,可以使作物数量和质量遗传性状发生变异^[27]。物理诱变的方式主要有电离辐射诱变、离子束诱变、激光诱变、空间辐射诱变^[28]。

2.1 电离辐射诱变

电离辐射诱变具有较高的能量,且穿透力极强,常见的有 X-射线和 γ -射线^[29]。电离辐射不仅可直接或间接地导致遗传物质发生改变,还可导致细胞内的水、有机物质发生氧化或还原反应,进而导致染色体发生畸变^[30]。电离辐射诱变可诱导生物体的大分子产生遗传变异,想要改善常用品种的 1 种或两种特性时,电离辐射突变就成为了重要的育种选择方式^[31]。

随着辐射诱变育种机理与机制研究的深入,辐射诱变技术在作物诱变育种中得到了广泛应用。由于钴源设备的研发, γ -射线开始应用于作物育种工作中,其中⁶⁰Co- γ 射线应用较为普遍。例如吴志医等^[32]利用⁶⁰Co- γ 射线和 EMS 对南农 86-4 和南农 9-16 进行复合诱变,构建了遗传变异大豆突变体库,并从中鉴定筛选出多个稳定遗传的突变体,如子叶折叠突变体、早花突变体、抗花叶病毒突变体等。适当剂量的 γ -射线诱变可提高大豆突变体农艺性状的丰富度,Bhuiyan 等^[33]用不同剂量的 γ -射线对大豆 BARI-5 亲本进行诱变,分析 M_4 代

12个突变体的株高、分枝数和荚数,鉴定出遗传力和净变异系数高的突变体 *SBM-18*,验证了其在多种环境下的产量性状都具有一定的稳定性,研究表明经适当剂量的 γ -射线诱变可获得稳定遗传的产量性状,且该株系已用于大规模种植。

电离辐射诱变已经获得很多不同优良性状的大豆突变体,不仅丰富了种质资源库,也为大豆分子与生理机制的研究奠定了基础。Rani 等^[34]利用⁶⁰Co- γ 射线 500Gy 对韩国 *Seoritae* 大豆种子进行诱变,使晚熟品种 *NRC-37* 发生早熟,将另一个晚熟品种 *JS97-52* 与其亲本 *NRC-37* 进行杂交,分子鉴定表明 *E1* 基因非功能片段发生缺失突变。大豆农艺性状的改良是提高大豆产量的重要手段,对 4 个大豆品种黑农 48、黑农 84、绥农 52 和绥农 42 进行⁶⁰Co- γ 辐射,导致苗后致死率提高,但叶型、分枝、黄化株、育性等方面的突变率也显著提高,这些性状特点为构建突变体库、高产品种的培育提供依据^[35]。电离辐射诱变技术可提高大豆抗逆性与品质等,对 γ -射线诱变后的大豆进行干旱处理,与对照组相比诱变处理的大豆植株叶绿素含量、光合活性、叶片水势显著提高,大豆叶片可溶性糖、蛋白质、脯氨酸含量也显著提高,POD 与 SOD 活性增强,诱变植株在干旱胁迫条件下丙二醛(MDA)浓度降低,表明在播种前对大豆种子进行 γ -射线诱变处理可以提高大豆耐旱性^[36]。此外, Alikamanoglu 等^[37]研究表明,不同剂量的 γ -射线照射可使大豆植株高度、平均鲜重和叶绿素含量降低,而可溶性蛋白含量、MDA 含量、SOD、POD 活性以及微量元素浓度由于辐射导致的氧化应激而增加。

生物体整个辐射诱变过程较为复杂,从辐射开始到生物效应的出现主要经历 4 个阶段:物理过程、化学过程、生化过程、生物过程。电离辐射会影响植物生长发育、生理生化指标、分子调控机制等,不同程度的辐射诱变对植物的影响也千差万别。目前,辐射诱变育种的主要研究集中在突变体农艺性状表现分析和生理生化指标测定,突变体变异的分子机制有待进一步研究。

2.2 离子束诱变

离子束诱变主要是通过加速器使中性原子剥离掉部分或全部核外电子再进行加速形成的,常见的如铁、碳、氮等重离子束。离子束主要是通过能量传递、质量沉积、电荷中和、交换等方式对生物体产生作用,最终导致染色体 DNA 序列和结构发生变化^[38]。

近年来,粒子加速器的飞速发展,重离子束作

为一种新型辐射源,因其具有较高的传能线密度(LET)和生物学效应(RBE)、低致死率、高突变率和较宽的突变谱,并可创造优异的突变体,而广泛应用于作物育种及关键基因的功能研究工作中。然而,有关重离子束在大豆诱变育种中的应用及其相关诱变效应的研究尚不十分系统和明确。王雪^[39]采用 100,120 和 140 Gy 3 个不同剂量碳离子束辐照处理东生 28 大豆,诱发产生株高、生育期、品质、籽粒大小、抗倒伏以及产量等方面丰富变异,并在表型水平、生理水平和分子水平探讨了碳离子束辐照大豆的诱变效应,对筛选获得的特异性大豆卷叶短叶柄突变体 *rlsp1* 进行分子机制解析,为优异性状基因定位研究提供理论支撑。

离子束诱变不仅可以获得新性状的植株,而且植株性状具有较强的可控性^[40]。离子束作为一种新型物理诱变技术已广泛应用于植物育种,其特点是损伤小、突变率高、突变范围广,在多种作物上得到了应用,提高了作物育种效率^[41]。诱变 M_2 是突变显现最多的世代,用 NaN_3 、EMS、氮离子束分别诱变处理大豆品种冀黄 13 的种子,在 M_2 代,N 离子束突变株行的突变频率为 10.0%,并鉴定得到 10 份能稳定遗传的突变株行^[42]。研究表明适宜剂量的 N 离子束可以有效改善大豆农艺性状,提高大豆产量,蛋白质与脂肪的含量^[43]。Mikuriya 等^[44]监控离子束诱变后的大豆叶绿素缺失表型 M_2 突变体群体在发育过程中叶绿素含量的动态变化,分析并讨论了叶绿素缺乏症可能发生的机制。此外, Kim 等^[45]探讨了大豆经离子束辐照诱变后的分子特性,基因属性分类(GO)分析表明,很多基因参与了蛋白质代谢过程,为大豆诱变潜在机制的研究提供基础信息。

重离子辐射诱变的机制复杂,不同类型和剂量的重离子产生不同的诱变效应,诱变效率同时受基因型影响。因此,根据不同基因型选择适宜的重离子及剂量是创制高效突变体的关键。同时,随着测序技术的高速发展,将基因组、转录组、蛋白质组学等测序技术与重离子辐射技术有机结合可为深入研究重离子辐射诱变的分子机制,进一步阐明重离子辐射诱变的机理提供技术支撑,促进重离子诱变在我国农作物育种中的蓬勃发展,为我国种质资源装上更多“中国芯”提供有利支持。

2.3 激光诱变

激光诱变育种可通过采用激光照射的方式产生新的突变植株,通常认为激光照射后几分钟或几秒钟就会产生短期反应,照射几个小时或者几天就

会产生长期反应^[46]。激光诱变育种是在激光力、阻尼力、随机力 3 个作用力共同作用下使植物体发生变异,各种频率的激光皆可使 DNA 发生一定程度的突变^[47]。

激光的透光率远大于普通光束且容易被吸收,激光辐射可以改变作物体内 DNA 的含量,改变酶活力,有利于种子解除休眠状态,进而发生有利的生理和遗传效应^[48]。最早从事激光诱变研究的美国科研人员,利用红宝石激光器对蚕豆、小麦、南瓜等种子进行诱变处理,种子发芽率及幼苗成活率在一定程度上得以提高^[49]。研究发现不同 CO₂ 激光会影响发芽率、可溶性蛋白含量、酶活性等生理指标参数^[50]。张建东等^[51]以不同剂量的 CO₂ 激光及同一剂量在不同时间对大豆种子进行诱变处理,研究结果表明不同功率密度激光处理大豆种子可以提高种子发芽率、游离氨基酸含量、淀粉酶活性,不同时间激光辐照诱变在适宜的时间范围内可以促进植株生长。

实验证明,利用不同强度波长和激光对种子进行照射处理可以有效地促进大豆早熟,使用激光照射大豆种子可以有效地提高产量且豆粒圆润饱满^[52]。安激 1 号、安激 2 号是安徽农业科学院结合激光和常规育种方法选育的早熟、高产品种。其中,安激 2 号大豆品种适应性强、产量高、蛋白质含量高、脂肪含量高,抗花叶病毒病和胞囊线虫病等,在农业生产实践中广泛推广^[53]。

2.4 空间辐射诱变

空间诱变也称太空诱变、航天诱变,宇宙空间微重力会使植物体细胞发生紊乱、染色体畸变、核小体数目发生变化,进而使植物体生理生化过程发生变化^[54]。太空环境中的高能粒子,使大豆内部 DNA 结构发生改变,使植物染色体发生变化,也容易导致大豆植株体内同工酶发生诱导变异和 DNA 突变。通过空间诱变技术有效地促进大豆等植物体发生突变^[55],但机理研究目前尚未成熟。

航天诱变育种研究始于 1987 年,与传统地面诱变育种相比,航天育种具有变异率高、变异幅度大、有益变异多、稳定性强等特点,因而能够培育高产、优质、早熟、多抗良种。黑龙江省农业科学院佳木斯分院将空间诱变育种和辐射诱变育种相结合,研究发现大豆后代在植株表型、产量、品质性状上都出现了有利变异,培育出和农 61、合农 65、合航 2010-239 和合航 2010-181 等品种(系)^[56]。黑龙江省农业科学院克山分院利用空间诱变技术选

育出产量高、品质佳、早熟的克山 1 号,为早熟基因稳定累加和缩短育种年限提供了理论与技术参考^[57]。通过航天育种培育而成大豆品种金源 55 号、合农 61、克山 1 号目前成为黑龙江省大豆主产区综合性状优良的品种。

空间诱变技术可以加速农作物种质资源的塑造和突破,有益变异率高,可以获得高产、早熟、抗病的优质农作物^[58]。由于空间诱变环境因素的随机性、卫星、飞船及高空气球的空间飞行条件及重量体积等条件限制,空间诱变技术暂时不能广泛应用在育种工作中。目前,各国科学家正在积极探索辐射剂量与植物变异的关系,探寻空间诱变的真正诱因。进而在地面上模拟太空辐射,创制出更多的新材料、新种质、新资源,从而为我国解决种源“卡脖子”问题,实现种业科技自立自强、种源自主可控更好地发挥作用。

3 展望

诱变育种技术是通过人工手段使植物体在基因水平上发生改变,产生与亲本不同的遗传性状,研究表明诱变育种可加快遗传变异速率,缩短育种的时间。然而诱变育种技术也存在弊端:突变频率与突变方向不可控,突变后表型筛选容易出现遗漏,诱变剂使用浓度与种质处理缺少精准性等。因此,在当前大豆种质资源同质化严重,基因资源日益枯竭的状况下,合理选择有效的诱变育种方法,创制丰富高效的突变体材料,可极大推动大豆优异基因挖掘和应用,打破基因型限制,有效利用基因编辑和分子设计育种,为优异突破性新品种选育提供坚实的材料支撑。

种子是农业现代化的基础,是农业的“芯片”。目前我国大豆育种面临着拥有自主知识产权的种质资源匮乏的难题,严重制约了大豆产能的迅猛发展。植物诱变产生的突变体是基因定位、分子克隆、植物遗传、基因表达与功能优化的良好试验材料,但由于许多隐性等位基因的存在,使育种过程变得复杂且缓慢。在作物诱变育种过程中利用先进的科学技术可高效缩短育种时间。种质资源重测序是基因组学辅助鉴别重要基因及选育新品种的基础,目前已破译了数百个物种的基因组,揭示了生物体复杂的网络调控机制。基因编辑技术是较精确的育种技术,可有效进行生物特性的理想改良,为定向育种的研发提供技术支撑。合理融合基因组学与诱变育种的“快速育种”方式能够改善育

种中的盲目性,实现精准分子设计育种,创制革命性品种,进而提高我国大豆产能,降低大豆对外依存度,实现大豆的“绿色革命”。

参考文献

- [1] LEE S, VAN K, SUNG M, et al. Genome-wide association study of seed protein, oil and amino acid contents in soybean from maturity groups I to IV9[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2019, 132(6): 1-2.
- [2] 李于. 诱变育种技术在大豆育种中的应用[J]. *中国种业*, 2015(12): 24-25. (LI Y. Application of mutation breeding technology in soybean breeding [J]. *Agricultural Press*, 2015(12): 24-25.)
- [3] 曹亚萍, 武银玉, 范绍强, 等. EMS 诱变技术在小麦上的应用[J]. *激光生物学报*, 2019, 28(5): 394-404. (CAO Y P, WU Y Y, FAN S Q, et al. Application of induction technology with EMS in wheat[J]. *Journal of Laser Biology*, 2019, 28(5): 394-404.)
- [4] 冷家业. 小麦诱变技术综述[J]. *农业技术与装备*, 2020(4): 145-146. (LENG J Y. Analysis of wheat mutagenesis technology [J]. *Agricultural Technology & Equipment*, 2020(4): 145-146.)
- [5] 张文兴, 赵晋锋. 谷子诱变育种研究现状[J]. *生物技术进展*, 2013, 3(4): 243-247. (ZHANG W X, ZHAO J F. Research situation of mutagenesis breeding in millet [J]. *Biotechnology*, 2013, 3(4): 243-247.)
- [6] 孟永杰, 陈锋, 帅海威, 等. 大豆 EMS 突变体库构建及其 M1 代重要农艺性状评价[J]. *大豆科学*, 2016, 35(1): 64-69. (MENG Y J, CHEN F, SHUAI H W, et al. Construction of soybean EMS mutant bank and evaluation of important agronomic characters of M1 generation[J]. *Soybean Science*, 2016, 35(1): 64-69.)
- [7] 张鑫, 苏彤, 顾玉阳, 等. ⁶⁰Co- γ 和 EMS 诱变“天隆一号”突变体库变异特征的初步分析[J]. *大豆科学*, 2019, 38(4): 517-524. (ZHANG X, SU T, GU Y Y, et al. Preliminary analysis on variation characteristics of mutant library of “Tianlong No. 1” induced by ⁶⁰Co- γ and EMS[J]. *Soybean Science*, 2019, 38(4): 517-524.)
- [8] ZHANG M, ZHANG X, JIANG X, et al. iSoybean: A database for the mutational fingerprints of soybean[J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2022, 20: 1435-1437.
- [9] ZHOU Z, LAKHSSASSI N, CULLEN M A, et al. Assessment of phenotypic variations and correlation among seed composition traits in mutagenized soybean populations [J]. *Genes*, 2019, 10(12): 975.
- [10] ESPINA M J, AHMED C M S, BERNARDINI A, et al. Development and phenotypic screening of an ethyl methane sulfonate mutant population in soybean[J]. *Front Plant Science*, 2018, 9: 394.
- [11] ZHOU Z, LAKHSSASSI N, KNIZIA D, et al. Genome-wide identification and analysis of soybean acyl-ACP thioesterase gene family reveals the role of GmFAT to improve fatty acid composition in soybean seed [J]. *Theoretical Applied Genetics*, 2021, 134(11): 3611-3623.
- [12] 张湘. 大豆雄性不育突变体 5053 的遗传定位和育种价值评价 [D]. 聊城: 聊城大学, 2020. (ZHANG X. Genetic location and breeding value assessment of soybean male sterility mutant 5053 [D]. Liaocheng: Liaocheng University, 2020.)
- [13] 蔺豆豆, 赵桂琴, 柴继宽, 等. 叠氮化钠诱变燕麦 M1 代的主要性状分析[J]. *草地学报*, 2022, 30(3): 587-593. (LIN D D, ZHAO G Q, CHAI J K, et al. Analysis of main characters of oat M1 generation induced by sodium azide[J]. *Acta Agraria Sinica*, 2022, 30(3): 587-593.)
- [14] 张瑞成, 李魏, 潘素君, 等. 化学诱变在种质资源改良上的应用 [J]. *分子植物育种*, 2017, 15(12): 5189-5196. (ZHANG R C, LI W, PAN S J, et al. Application of chemical mutagenesis in the improvement of germplasm resources [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2017, 15(12): 5189-5196.)
- [15] 温日宇, 刘建霞, 宋亚静, 等. 叠氮化钠对绿豆种子和幼苗生长的诱变效应 [J]. *山西农业科学*, 2017, 45(12): 1933-1936. (WEN R Y, LIU J X, SONG Y J, et al. Mutagenic effect of sodium azide on the growth of mung bean seeds and seedlings[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2017, 45(12): 1933-1936.)
- [16] 田鑫, 钟程, 李性苑. 叠氮化钠诱变对不同大豆种质低温耐受性的影响 [J]. *福建农业学报*, 2020, 35(7): 699-708. (TIAN X, ZHONG C, LI X W. Effects of sodium azide mutation on low temperature tolerance of different soybean germplasm [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 35(7): 699-708.)
- [17] 张俐俐, 谷维, 雷勃钧, 等. 应用化学诱变法筛选抗草甘膦大豆突变株系 [J]. *大豆科学*, 2009, 28(5): 938-940. (ZHANG L L, GU W, LEI B J, et al. Screening of glyphosate resistant soybean mutant lines by chemical mutagenesis [J]. *Soybean Science*, 2009, 28(5): 938-940.)
- [18] 李曙光, 赵团结, 盖钧镒. 大豆突变体 NJS-1H 核雄性不育性的细胞学与遗传学分析 [J]. *大豆科学*, 2010, 29(2): 181-185. (LI S G, ZHAO T J, GAI J Y. Cytological and genetical characterization of a nuclear male-sterile of soybean mutant NJS-1H [J]. *Soybean Science*, 2010, 29(2): 181-185.)
- [19] 苍晶, 李茫雪, 张达, 等. 矮秆大豆突变体叶片和豆荚生理特性的初步分析 [J]. *核农学报*, 2007(6): 562-566. (CANG J, LI M X, ZHANG D, et al. Preliminary analysis of physiological characteristics of leaves and pods of dwarf soybean mutants [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2007(6): 562-566.)
- [20] 钱玉源, 韩轩, 刘祎, 等. 叠氮化钠 (NaN₃) 诱变在作物性状改良中的应用 [J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(35): 136-138, 141. (QIAN Y Y, HAN X, LIU Y, et al. Application of sodium azide (NaN₃) mutation in crop character improvement [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(35): 136-138, 141.)
- [21] 韩永亮, 李世云, 路正营, 等. 平阳霉素在作物育种中的应用 [J]. *农技服务*, 2013, 30(8): 900. (HAN Y L, LI S Y, LU Z Y, et al. Application of Pingyangmycin in crop breeding [J]. *Agricultural Technical Services*, 2013, 30(8): 900.)
- [22] 刘文林, 张宏纪, 孙岩, 等. 平阳霉素对小麦雌雄配子诱变效果的研究 [J]. *黑龙江农业科学*, 2021(1): 1-5. (LIU W L, ZHANG H J, SUN Y, et al. Study on mutagenic effect of

- Pingyangmycin on male and female gametes of wheat [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2021(1): 1-5.)
- [23] 原亚萍,许耀奎. 平阳霉素(Pingyangmycin)对大豆诱变效应的研究[J]. 作物学报, 1993(1): 7-16, 97. (YUAN Y P, XU Y K. Study on mutagenic effect of Pingyangmycin on soybean[J]. Acta Agronomica Sinica, 1993(1): 7-16, 97.)
- [24] 王安邦,龚德勇,许奕,等. 物理诱变技术及其在香蕉育种中的研究进展[J]. 激光生物学报, 2020, 29(1): 11-17, 33. (WANG A B, GONG D Y, XU Y, et al. Physical mutagenesis technology and its research progress in banana breeding [J]. Journal of Laser Biology, 2020, 29(1): 11-17, 33.)
- [25] SHAH S N M, GONG Z H, ARIS M H, et al. Effect of ethyl methyl sulfonate concentration and different treatment conditions on germination and seedling growth of the cucumber cultivar Chinese long (9930) [J]. Genetics and Molecular Research; GMR, 2015, 14(1): 2440-2449.
- [26] 杨震,彭选明,彭伟正. 作物诱变育种研究进展[J]. 激光生物学报, 2016, 5(4): 302-308. (YANG Z, PENG X M, PENG W Z. Research progress of crop mutation breeding [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2016, 5(4): 302-308.)
- [27] KUMAR A, CHAURASIA A K, YADAV P K. Mutagenic effect of gamma radiation on macro mutation spectrums, effectiveness and efficiency under M3 generation in pea (*Pisum sativum* L.) [J]. Journal of Applied Life Sciences International, 2020, 23(4): 45-51.
- [28] YASMEEN S, KHAN M T, KHAN I A. Revisiting the physical mutagenesis for sugarcane improvement: A stomatal prospective [J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 16003.
- [29] PÉREZ-JIMÉNEZ M, TLALÓN C I, PÉREZ-TORNERO O. Inducing mutations in *Citrus* spp.: Sensitivity of different sources of plant material to gamma radiation [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2020, 157: 109030.
- [30] 梁英,闫译允,赖秋璇,等. 微藻诱变育种研究进展[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2020, 50(6): 19-32. (LIANG Y, YAN Y Y, LAI Q X, et al. Research progress on mutation breeding of microalgae [J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(6): 19-32.)
- [31] BERKEN C, TURGUT Y, MERAL I, et al. Studies on mutation breeding in citrus: Improving seedless types of 'Kozan' common orange by gamma irradiation [J]. Scientia Horticulturae, 2021, 278: 109857.
- [32] 吴志医,黄也,黄方,等. 大豆突变体库的低硫耐性鉴定和资源筛选[J]. 南京农业大学学报, 2022, 45(1): 11-17. (WU Z Y, HUANG Y, HUANG F, et al. Identification of low sulfur tolerance and resource screening of soybean mutant library [J]. Nanjing Agricultural University, 2022, 45(1): 11-17.)
- [33] BHUIYAN M S H, MALEK M A, EMON R M, et al. Increased yield performance of mutation induced soybean genotypes at varied agro-ecological conditions [J]. Brazilian Journal of Biology, 2022, 84: e255235.
- [34] RANI A, KUMAR V, SHUKLA S, et al. Molecular characterization of a novel mutation in the *E1* flowering gene induced by gamma irradiation in soybean [J]. Genome, 2021, 64(10): 915-925.
- [35] 薛永国,刘鑫磊,唐晓飞,等. 东北春大豆⁶⁰Co-γ辐射和EMS诱变的突变特点分析[J]. 大豆科学, 2020, 39(2): 174-182. (XUE Y G, LIU X L, TANG X F, et al. Northeast spring soybean ⁶⁰Co-γ analysis of mutation characteristics of radiation and EMS mutation [J]. Soybean Science, 2020, 39(2): 174-182.)
- [36] MOUSSA H. Low dose of gamma irradiation enhanced drought tolerance in soybean [J]. Acta Agronomica Hungarica, 2011, 59(1): 5-7.
- [37] ALIKAMANOGLU S, YAYCILI O, SEN A. Effect of gamma radiation on growth factors, biochemical parameters, and accumulation of trace elements in soybean plants (*Glycine max* L. Merrill) [J]. Biological Trace Element Research, 2011, 141(1-3): 283-293.
- [38] 刘建光,王永强,赵贵元,等. 重离子辐照诱变育种应用及其生物学效应研究进展[J]. 作物杂志, 2016(3): 12-16. (LIU J G, WANG Y Q, ZHAO G Y, et al. Research progress of heavy ion irradiation mutation breeding and its biological effects [J]. Journal of Crops, 2016(3): 12-16.)
- [39] 王雪. 碳离子束辐照大豆的诱变效应 [D]. 长春: 中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所), 2021. (WANG X. Mutation effect of carbon ion beam irradiation in soybean [D]. Changchun: Chinese Academy of Science (Northeast Institute of Geography and Agroecology), 2021.)
- [40] 陈功海,魏霞,徐延浩. 离子束诱变在作物育种中的应用 [J]. 宁夏农林科技, 2020, 61(2): 11-13. (CHEN G H, WEI X, XU Y H. Application of ion beam mutagenesis in crop breeding [J]. Ningxia Agriculture and Forestry Science and Technology, 2020, 61(2): 11-13.)
- [41] 孔福全,隋丽,刘建成,等. 中国原子能科学研究院辐射育种技术及研究概述 [J]. 中国原子能科学研究院年报, 2019(1): 67. (KONG F Q, SUI L, LIU J C, et al. Overview of radiation breeding technology and research in China Academy of atomic energy [J]. Annual Report of China Institute of Atomic Energy, 2019(1): 67.)
- [42] 张力伟,樊颖伦,牛腾飞,等. 大豆“冀黄13”突变体筛选及突变体库的建立 [J]. 大豆科学, 2013, 32(1): 33-37, 42. (ZHANG L W, FAN Y L, NIU T F, et al. Screening of mutants and construction of mutant population for soybean cultivar "Jihuang 13" [J]. Soybean Science, 2013, 32(1): 33-37, 42.)
- [43] 彭琳,季良. 氮离子束注入和钴⁶⁰伽玛辐射对大豆生物学效应研究初报 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(14): 6399-6402. (PENG L, JI L. Preliminary study on biological effects of soybean by nitrogen ion beam implantation and ⁶⁰Co-γ radiation [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(14): 6399-6402.)
- [44] MIKURIYA S, KASAI M, NAKASHIMA K, et al. Frequent generation of mutants with coincidental changes in multiple traits via ion-beam irradiation in soybean [J]. Genes & Genetic Systems, 2018, 92(3): 153-161.
- [45] KIM W J, RYU J, LM J, et al. Molecular characterization of proton beam-induced mutations in soybean using genotyping-by-

- sequencing[J]. *Molecular Genetics and Genomics*, 2018, 293(5): 1169-1180.
- [46] 张健. 紫外诱变青霉菌特异性研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017. (ZHANG J. Study on the specificity of *Penicillium* induced by UV[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017.)
- [47] 刘效勇, 卢佩. 激光技术在作物育种中的应用[J]. *现代农村科技*, 2010(13): 53-54. (LIU X Y, LU P. Application of laser technology in crop breeding[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2010(13): 53-54.)
- [48] 朱家健. 激光技术在农业中的应用及其展望[J]. *农机化研究*, 2009, 31(4): 222-225. (ZHU J J. Application and prospect of laser technology in agriculture [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2009, 31(4): 222-225.)
- [49] 冯光文, 成浩, 徐辉, 等. 激光诱变技术在生物育种中的应用[J]. *激光与光电子学进展*, 2007(5): 56-61. (FENG G W, CHENG H, XU H, et al. Application of laser mutation technology in biological breeding [J]. *Laser and Optoelectronics Progress*, 2007(5): 56-61.)
- [50] 陈丽霞, 杜吉到, 费志宏, 等. 诱变育种技术在大豆育种中的应用[J]. *大豆科学*, 2008, 27(5): 874-878. (CHEN L X, DU J D, FEI H Z, et al. Application of mutation breeding technology in soybean breeding[J]. *Soybean Science*, 2008, 27(5): 874-878.)
- [51] 张建东, 陈怡平, 王勋陵. CO₂激光处理对大豆种子萌发及生理的影响[J]. *西北植物学报*, 2004(2): 221-225. (ZHANG J D, CHEN Y P, WANG X L. Effects of CO₂ laser treatment on soybean seed germination and physiology [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2004(2): 221-225.)
- [52] 韩亚萍, 曹岩, 陈炳才. 大豆激光诱变育种发展趋势研究[J]. *大豆科学*, 2008, 27(3): 532-535. (HAN Y P, CAO Y, CHEN B C. Study on the development trend of soybean laser mutation breeding[J]. *Soybean Science*, 2008, 27(3): 532-535.)
- [53] 赵曦, 王广金, 李铁, 等. 大豆空间诱变突变体的 RAPD 分析[J]. *核农学报*, 2014, 28(5): 772-776. (ZHAO X, WANG G J, LI T, et al. RAPD analysis of soybean space mutation mutants [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2014, 28(5): 772-776.)
- [54] 张东辉, 杨青春, 耿臻, 等. 大豆育种中诱变育种技术的应用[J]. *粮食科技与经济*, 2020, 45(6): 122-123. (ZHANG D H, YANG Q C, GENG Z, et al. Application of mutation breeding technology in soybean breeding [J]. *Grain Science and Technology and Economy*, 2020, 45(6): 122-123.)
- [55] 黄益安, 邓小娟, 万海波, 等. 大豆华夏3号突变体库构建及 SSR 分子标记[J]. *中国油料作物学报*, 2016, 38(2): 159-166. (HUANG Y A, DENG X J, WAN H B, et al. Construction of soybean Huaxia 3 mutant library and SSR molecular markers [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2016, 38(2): 159-166.)
- [56] 郑伟, 朱凤丽, 郭泰, 等. 空间诱变创新大豆种质的研究进展[J]. *中国种业*, 2015(6): 16-18. (ZHENG W, ZHU F L, GUO T, et al. Research progress of innovative soybean germplasm by space mutation [J]. *China Seed Industry*, 2015(6): 16-18.)
- [57] 张勇, 杨兴勇, 董全中, 等. 利用空间诱变技术选育大豆新品种克山1号[J]. *核农学报*, 2013, 27(9): 1241-1246. (ZHANG Y, YANG X Y, DONG Q Z, et al. Breeding of a new soybean variety Keshan 1 by space mutagenesis [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2013, 27(9): 1241-1246.)
- [58] 邵平桢. 改造提升我国传统农业的新路径-基于航天高技术利用的分析视角[J]. *农村经济*, 2012(11): 96-98. (SHAO P Z. A new path to transform and enhance China's traditional agriculture-from the perspective of aerospace high-tech utilization [J]. *Rural Economy*, 2012(11): 96-98.)

欢迎订阅 2023 年《大豆科学》

《大豆科学》是由黑龙江省农业科学院主管、主办的大豆专业性学术期刊,被国内外多家重要数据库收录的核心期刊。主要刊登有关大豆遗传育种、品种资源、生理生态、耕作栽培、植物保护、营养肥料、生物技术、食品加工、药用功能及工业用途等方面的学术论文、科研报告、研究简报、国内外研究述评、学术活动简讯和新品种介绍等。

《大豆科学》为双月刊,16开本,国内外公开发行。国内每期定价:40.00元,全年240.00元,邮发代号:14-95。国外每期定价:40.00美元(含邮资),全年240.00美元,国外邮发代号:Q5587。全国各地邮局均可订阅。

地址:哈尔滨市松北区创新三路800号

邮编:150023

电话:0451-51522862

网址: <http://ddkx.haasep.cn>

E-mail: soybeanscience@vip.163.com

