

CRISPR/Cas9 基因编辑技术在 玉米分子育种中的应用概述

尹祥佳¹ 翟琛¹ 李晶¹ 南铭² 郝楠¹

(¹兰州职业技术学院,甘肃兰州 730070; ²甘肃省农业科学院,兰州 730070)

摘要:玉米是我国第一大粮食作物,有效提升玉米产量和品质对保障我国粮食安全起着至关重要的作用。简要论述了CRISPR/Cas9基因编辑技术研究历程、编辑类型和作用原理,以及在功能基因验证、玉米产量、品质改良和抗逆育种方面的应用,说明了在玉米基因组水平上进行基因定向编辑改造对玉米分子育种具有重要研究和应用价值。通过借鉴相关国家对基因编辑作物进行监管的措施,为不断完善我国的监管政策提出了一些对策建议。

关键词: CRISPR/Cas9; 玉米分子育种; 基因编辑; 监管

Application of CRISPR/Cas9 Genome Editing Technology in Maize Molecular Breeding

YIN Xiang-jia¹, ZHAI Chen¹, LI Jing¹, NAN Ming², HAO Nan¹

(¹Lanzhou Vocational Technical College, Lanzhou 730070; ²Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070)

党的二十大报告指出,要加快建设农业强国,扎实推动乡村产业、人才、文化、生态、组织振兴;2023年中央一号文件明确提出,全面推进乡村振兴,加快农业农村现代化^[1-2]。因此,要立足国情农情,要将实现具有中国特色的农业现代化作为全面建设社会主义现代化国家的重要组成和战略支撑。农业现代化的基础是种子,种业又是农业的“芯片”,是国家战略性、基础性核心产业,是推动我国农业跨越式发展的重要引擎^[3]。国家统计局数据显示,2022年全国粮食播种面积11833.21万hm²,全国粮食总产量68652.8万t,其中玉米播种面积为4307.01万hm²,玉米产量是27720.3万t,分别占36.4%和40.4%,稳居我国粮食作物第1位。

近年来,我国粮食总产量的连续增长得益于种业的发展和种子的贡献度,种业的发展离不开种业科技创新的支撑^[4]。随着玉米全基因组测序技术的发展,全方位研究玉米基因功能及其应用是当前玉

米分子育种研究的重要内容。CRISPR/Cas9基因编辑技术具有易操作、效率高和扩展性强等显著优点,已成为开展玉米基础研究和应用研究最有力的遗传操作方式^[5]。我国科学家在CRISPR/Cas9基因编辑技术的研发、精准开展玉米分子育种、获得改良的玉米育种材料等方面取得了一定的突破^[6]。通过阐述CRISPR/Cas9基因编辑技术的研究历程、类型和作用原理,概述CRISPR/Cas9基因编辑技术在玉米分子育种中的应用,实现玉米育种材料的分子改良,不断加强基因编辑作物监管,能够为玉米分子育种研究提供参考。

1 CRISPR/Cas9 基因编辑技术

1.1 CRISPR/Cas9 基因编辑研究历程 植物基因编辑技术是指以植物的特定功能基因为研究对象,采用基因编辑技术对这些特定基因的编码序列进行特异编辑,对基因组中的靶位点进行敲除、替换、插入等定点人工修饰,进行分子改良,最终实现植物的优良性状能够稳定遗传,经过基因组改造后的植物称为基因编辑植物。基因编辑技术有锌指核酸酶

(ZFNs)、转录激活因子样效应物核酸酶(TALENs)和成簇的规律间隔的短回文重复序列(CRISPR/Cas9)^[7]。TALENs和CRISPR/Cas9相继入选2012年、2013年《科学》十大科学突破。相关研究文献对3种基因编辑技术作了比较(表1)^[8]。

表1 基因编辑技术比较

比较内容	ZFNs	TALENs	CRISPR/Cas9
结构组成	锌指蛋白与FokI核酸酶	TALE蛋白与FokI核酸酶	sgRNA与Cas9蛋白
结合方式	蛋白质-靶DNA	蛋白质-靶DNA	RNA-靶DNA
载体构建难易	难	中等	容易
靶基因突变率	不同靶基因差别大	高	高
效率	低	中	高
脱靶率	高	低	高
靶DNA大小	约18~24bp	约50~60bp	约20bp

Ishino等^[9]于1987年首先发现了大肠杆菌碱性磷酸酶基因附近存在串联间隔重复序列。2002年完成了嗜热链球菌全基因组序列测序后,Horvath等^[10]首次提出了CRISPR的概念。Barrangou等^[11]于2007年证明了细菌用CRISPR抵御外来噬菌体的入侵,并在自身基因组中留下外来基因片段作为“记忆模式”,其实是广泛存在于细菌和古细菌中的免疫防御系统。研究表明^[12-13],天然的CRISPR/Cas9分为Cas9、crRNA和tracrRNA 3个部分,crRNA和tracrRNA通过局部碱基配对组成gRNA,而gRNA与Cas9结合后引导Cas9蛋白识别和切割目标DNA序列,后来科学家对这一编辑技术进行了改造,将crRNA和tracrRNA融合成1条RNA,并称其为sgRNA。改造后的CRISPR/Cas9成为研究者首选的基因编辑研究方法,CRISPR/Cas9基因编辑技术成为近些年玉米分子育种研究的热点领域。

1.2 CRISPR/Cas9 基因编辑类型 目前大约有40%细菌和90%古细菌已经被测序,CRISPR/Cas类型有3种,其中的Type II型CRISPR/Cas较为简单,以Cas9蛋白以及导向RNA为核心组成,是在细胞或生物体内引入Cas9酶和设计不同的导向RNA(sgRNA),来指导Cas9完成对DNA的定点切割修饰^[14-15]。Type I型是相对较为复杂的编辑系统,包含6个Cas蛋白质(Cas1、Cas2、Cas3、Cas5、

Cas6、Cas7),主要来源于大肠杆菌等细菌、铜绿假单胞菌等古生菌,其中特征性的Cas3蛋白具有解旋酶和核酸酶功能,是干扰阶段的主要作用酶类。Type II型包含4个Cas蛋白质(Cas1、Cas2、Cas4、Cas9),主要来源于激烈火球菌等古生菌,Cas9是分子质量很大的多功能蛋白,能够参与crRNA的成熟以及降解入侵的噬菌体核酸或是外源质粒,同时还参与剪切crRNA的成熟和靶标DNA中起到了重要作用,是目前基因组定向编辑技术的主要应用类型。Type III型包含4个Cas蛋白质(Cas1、Cas2、Cas6、Cas10),其中特征性的Cas10蛋白质主要参与crRNA的成熟和剪切入侵外源DNA,目前发现存在2种亚型Type III A和Type III B。自然界中的CRISPR/Cas编辑系统具有一定的多态性,因此,立足现有的编辑系统进一步开发新型和高效的基因编辑技术也是关键的研究方向。

1.3 CRISPR/Cas9 基因编辑作用原理 CRISPR/Cas9基因编辑的作用原理分为3个阶段。首先是来源于病毒的小段DNA整合到细菌的CRISPR中生成新的间隔和重复序列单元,外源DNA的间隔序列前体侧翼有一段保守短序列称为PAM,它是获取DNA片段所需的识别序列。其次是CRISPR在前导序列的驱动下转录出前体pre-crRNA,被特定核酸内切酶加工成crRNA,随后与反式激活tracrRNA结合形成sgRNA复合体,引导核酸内切酶移动至病毒DNA的部位,指引特定的Cas9酶降解外源核酸^[16]。

所以,应用CRISPR/Cas9基因编辑技术定向改良作物靶基因的流程一般分为6个步骤:一是靶位点设计;二是构建CRISPR/Cas9 sgRNA表达载体;三是验证sgRNA靶向力;四是作物遗传转化和筛选抗性愈伤;五是分子检测和测序鉴定突变类型;六是再生植株鉴定和后代纯合体的筛选。由于CRISPR/Cas9编辑技术的载体构建较为简单,具有成本低等优势,在玉米功能基因验证、产量、品质和抗性改良分子育种研究中发挥了重要作用。

2 玉米分子育种中的应用概述

2.1 功能基因验证 功能基因验证、挖掘有效基因为后续开展基因编辑技术或者转基因等分子育种提供了前提基础。杨敏等^[17]以玉米B104中克隆的ZmFKF1为靶基因,用CRISPR/Cas9基因编辑技术进行定点编辑,并对纯合突变体进行了表型分析

和基因表达验证,明确了 *ZmFKF1* 在玉米开花过程中具有正调控的作用,为玉米分子育种及遗传改良提供了理论依据。雷海英等^[18]以玉米自交系材料 B104 为研究受体材料,利用 CRISPR/Cas9 基因编辑技术鉴定了玉米发育相关基因 *ZmCen*,推测其与玉米植株雄花序发育有关。邢瑞霞^[19]利用 CRISPR/Cas9 基因编辑技术成功获得了参与玉米光周期调控途径的敏感基因 *ZmCCT10* 和 *ZmCCT9* 的相关突变体,验证了改良玉米开花期,能够适当缩短生育周期。因此,通过 CRISPR/Cas9 基因编辑技术验证克隆基因的功能,进一步明晰功能基因与性状的关联研究具有重要的应用价值。

2.2 产量育种 玉米产量提升一直是育种家的研究目标。玉米的种植产量不仅与品种的穗长、穗粗、穗行数、行粒数、粒长和粒重等数量性状相关,还与玉米种植密度和种植栽培条件有关。玉米雌花花序发育一般开始于 9~10 叶期,叶腋分生组织(AM)将转换成花序分生组织(IM),随后 IM 上形成多行排列整齐的小穗分生组织(SPM),因此,通过提升玉米花序分生组织活性,可以有效增加玉米果穗穗行数和粒重。Liu 等^[20]利用 CRISPR/Cas9 基因编辑技术突变 *ZmCLE7* 和 *ZmFCP1* 等位基因资源,精细调控候选基因表达水平,强化了玉米产量性状,提高了玉米籽粒产量。徐倩等^[21]用 CRISPR/Cas9 基因编辑技术对玉米籽粒发育关键基因 *ZmRLK7* 的 2 个靶位点目标 DNA 区段序列进行了突变,编辑效率均为 25%,为获得稳定的变异育种材料奠定了基础。刘超等^[22]从玉米自交系 B73 基因组数据库中筛选了 3 个穗发育相关的玉米细胞分裂素氧化酶基因 *CKX4*、*CKX5* 和 *CKX10* 作为靶标基因,构建了 CRISPR/Cas9 玉米基因组编辑载体,为后续的玉米分子育种做了基础工作。穆路遥^[23]所在研究团队在原有鉴定的 3 个调控玉米百粒重的关键候选基因 *Zm079*、*Zm080*、*Zm081* 基础上,利用 CRISPR/Cas9 基因编辑技术获得了与粒重相关的 4 份编辑材料,影响穗长的 3 份材料,影响株型的 5 份材料,为玉米产量相关基因的探究奠定了坚实基础。因此,玉米产量相关性状的基因编辑技术研究是核心的玉米分子育种目标。

2.3 品质育种 在玉米品质改良方面的分子育种也是实现高质量玉米品质供给的基础和应用研究方向。张翔等^[24]以玉米自交系京 724 为受体材料,利

用 CRISPR/Cas9 基因编辑技术,对玉米 2 个香味同源基因 *ZmBADH2-1* 和 *ZmBADH2-2* 进行了突变,突变体材料中的香味物质(2-AP)含量显著提高,研究获得了香型玉米种质材料。祁显涛等^[25]通过 CRISPR/Cas9 基因编辑技术对受体玉米材料的甜糯显性基因 *Sh2* 和 *Wx1* 定点突变形成糯性隐性基因 *sh2* 和 *wx1*,可以快速高效地创制甜糯玉米性状的种质材料。魏晓禹^[26]以 H99 玉米愈伤组织为受体材料,通过对转化植株的分子检测、农艺性状调查和后代种子的品质性状检测,表明了 *ZmPCK2* 基因能够控制玉米淀粉和蛋白质含量,改良受体玉米材料的品质。因此,在产量研究的基础上能够实现 CRISPR/Cas9 基因编辑改良玉米育种材料的品质,对实现更加优质的玉米品种供给非常有价值。

2.4 抗逆育种 玉米在整个生长过程中受到不同程度的生物和非生物胁迫,CRISPR/Cas9 基因编辑技术在增强玉米抗旱、抗倒伏、抗除草剂和抗病等方面也有相关的研究成果报道。Shi 等^[27]利用 CRISPR/Cas9 基因编辑技术将克隆的玉米 *GOS2* 启动子插入 *ARGOS8* 基因的 5'-UTR 或者替换 *ARGOS8* 基因的启动子,得到了 2 个过表达突变体材料 *ARGOS8-V1* 和 *ARGOS8-V2*,与对照相比具有一定的抗旱性;Zhang 等^[28]用过表达和 CRISPR/Cas9 基因编辑技术证实了 *stiff1* 基因影响玉米的茎秆强度,使得玉米茎秆细胞壁中的纤维素和木质素含量发生变化,尤其是 CRISPR/Cas9 实现基因敲除后玉米茎秆强度增强,具有显著的抗倒伏性;Li 等^[29]用 CRISPR/Cas9 基因编辑技术实现了编码乙酰乳酸合成酶基因 *ZmALS1* 和 *ZmALS2* 的编辑,改良了受体玉米材料的抗除草剂性状,用 CRISPR/Cas9 基因编辑技术对 *ZmLOX3* 基因进行敲除后得到突变体材料对玉米黑粉菌的抗性显著增强。

因此,通过 CRISPR/Cas9 基因编辑技术进行功能基因验证、产量育种、品质育种和抗逆育种等方面的基础和应用研究,可以不断明晰玉米相关基因的关联性状,有效提升玉米材料的抗性,提升玉米产量和品质,为选育适应种植生长环境的优良玉米品种提供分子育种技术支撑,同时还要在研究过程中考虑到以玉米为代表的作物基因编辑监管问题。

3 基因编辑作物监管

3.1 国际基因编辑监管类型 随着基因编辑作物商

业化进程的不断加快,部分国家对其监管的重视程度也显著提高,基因编辑作物的研发和应用需要有政府的监管措施。目前,文献报道了国际上存在的3种监管模式,都有相应的法律和条例依据^[30]。一是以美国和阿根廷为代表的宽松监管,其与转基因作物的监管不同,仅限于产品的监管,但是做到了信息公开,监管透明;二是以欧盟为代表的谨慎型监管,认为与转基因作物监管实质等同,要严格做到研发和应用全过程监管;三是以澳大利亚为代表的折中型监管,在不同研发阶段进行分类监管。研究国外的监管措施能够对我国的基因编辑监管政策起到借鉴的作用。

3.2 我国基因编辑监管政策 基因编辑产品监管与基因编辑产品走向市场应用具有很大的相关性。随着我国基因编辑技术的研发和应用不断取得新的成果,我国基因编辑领域的科学家及团队不断建议,尽快建立包括玉米在内的作物基因编辑监管政策。因此,农业农村部提出了尊重科学、严格监管,有序推进生物育种产业化应用的具体要求。2022年1月农业农村部发布了新修改的《农业转基因生物安全评价管理办法》等规章的决定,还制定公布了《农业用基因编辑植物安全评价指南(试行)》,主要针对没有引入外源基因的基因编辑植物,依据可能产生的风险申请安全评价过程。2023年4月农业农村部发布了《农业用基因编辑植物评审细则(试行)》,主要从分子特征、环境安全、食用安全和评审程序4个方面细化了基因编辑植物安全评价内容,进一步明确了《农业用基因编辑植物安全评价指南(试行)》的可操作性。4月28日农业农村部发布《2023年农业基因编辑生物安全证书批准清单》,全国首个基因编辑安全证书获批。这对规范我国农业基因编辑的安全评价管理,促进我国作物育种技术研发与产业发展具有里程碑的意义。

3.3 监管对策建议 包括基因编辑玉米在内的作物基因编辑研究都要有科学的研判,确保在安全可控的前提下,加速基因编辑作物研发和应用。一是要加强对国际基因编辑监管经验的吸收和借鉴;二是要进一步完善我国基因编辑作物的安全评价体系,做到全过程信息化管理并可溯源;三是要继续推进我国基因编辑的基础研究和应用研究,实现关键领域对“卡脖子”的突破,实现国际领先水平,提升国际竞争力;四是要加大基因编辑技术的专利保护

力度,不断提升科学研究成果转化效率;五是要加强生物技术的科学知识普及宣传,积极营造科学认识CRISPR/Cas9等基因编辑技术的良好社会氛围。

综上所述,CRISPR/Cas9基因编辑技术在玉米分子育种研究过程中取得了广泛应用,获得了一批玉米育种材料,有效拓宽了玉米育种种质资源。随着基因编辑技术的发展,玉米功能基因的进一步挖掘和定点突变验证,基因编辑技术将会进一步提升我国玉米分子育种成效。同时,要与其他分子育种技术相结合,与常规玉米育种技术相结合,为培育优良的玉米新品种奠定基础。还要加强科研院所和企业的研发合作和成果转化,为我国玉米种业的现代化发展提供更加坚实的技术和人才支撑,不断助力我国农业现代化。

参考文献

- [1] 罗明忠. 人力资本视角下中国农业强国建设的基本路径. 求索, 2023, 335 (1): 120-131
- [2] 姜长云. 农业强国建设及其关联问题. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2023, 164 (2): 1-10
- [3] 郑怀国, 赵静娟, 秦晓婧, 贾倩, 齐世杰. 全球作物种业发展概况及对我国种业发展的战略思考. 中国工程科学, 2021, 23 (4): 45-55
- [4] 宋罗娜, 吴鼎文, 侯军岐. 我国种业发展及其实施战略. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2022, 22 (6): 141-149
- [5] 林敏. 玉米生物育种基础研究与关键技术. 中国生物工程杂志, 2021, 41 (12): 1-3
- [6] 杨海峰, 李梦荷, 王雅丽, 董彦琪, 顾国兵, 王泽, 孙玉镯, 申思洋, 张栩. 基于文献计量学的中国2000-2021年CRISPR技术研究态势分析. 中国农学通报, 2023, 39 (6): 41-51
- [7] 谢科, 饶力群, 李红伟, 安学丽, 方才臣, 万向元. 基因组编辑技术在植物中的研究进展与应用前景. 中国生物工程杂志, 2013, 33 (6): 99-104
- [8] 徐华山, 李培德, 戴风美, 刘凯, 杨国才, 李三和, 阚文俊, 周雷, 陈志军, 方国成, 游艾青. 基因组编辑技术研究进展及其在植物中的应用. 安徽农学通报, 2015, 21 (18): 15-19
- [9] Ishino Y, Shinagawa H, Makino K, Amemura M, Nakata A. Nucleotide sequence of the *iap* gene, responsible for alkaline phosphatase isozyme conversion in *Escherichia coli*, and identification of the gene product. *Journal of Bacteriology*, 1987, 169: 5429-5433
- [10] Horvath P, Barrangou R. CRISPR/Cas, the immune system of bacteria and archaea. *Science*, 2010, 327 (5962): 167-170
- [11] Barrangou R, Fremaux C, Deveau H, Richards M, Boyaval P, Moineau S, Romero D A, Horvath P. CRISPR provides acquired resistance against viruses in prokaryotes. *Science*, 2007, 315 (5819): 1709-1712
- [12] 景润春, 卢洪. CRISPR/Cas9基因组定向编辑技术的发展与在作物遗传育种中的应用. 中国农业科学, 2016, 49 (7): 1219-1229

- [13] 梁丽琴, 阎婧, 张鑫, 郝泽婷, 段江燕. CRISPR 技术的发展及应用研究进展. 生物技术通报, 2018, 34 (5): 9-16
- [14] 张东民, 张晓星, 朱慧, 张德贵, 翁建峰, 郝转芳, 李明顺. 基因编辑技术的研究及在玉米中的应用. 玉米科学, 2018, 26 (1): 45-49
- [15] 葛陆星, 康健, 董翔宸, 张涌, 权富生. CRISPR/Cas9 体系的多元化发展和应用. 农业生物技术学报, 2017, 25 (6): 939-953
- [16] 赵梦羽, 张利军, 蒋正杰, 赵洋. 多倍体作物 CRISPR/Cas9 基因编辑技术研究进展. 农业生物技术学报, 2022, 30 (4): 792-801
- [17] 杨敏, 胥华伟, 王翠玲, 杨护, 魏岳荣. 利用 CRISPR/Cas9 技术研究玉米 *Zm FKF1* 在开花过程中的作用. 中国农业科学, 2021, 54 (4): 696-707
- [18] 雷海英, 赵青松, 白凤麟, 宋慧芳, 王志军. 利用 CRISPR/Cas9 鉴定玉米发育相关基因 *ZmCen*. 中国生物工程杂志, 2020, 40 (12): 49-57.
- [19] 邢瑞霞. 利用 CRISPR/Cas9 技术靶向编辑玉米光周期敏感基因 *ZmCCT10* 及 *ZmCCT9*. 合肥: 安徽农业大学, 2022
- [20] Liu L, Gallagher J, Arevalo E D, Chen R, Skopelitis T, Wu Q Y, Bartlett M, Jackson D. Enhancing grain-yield-related traits by CRISPR - Cas9 promoter editing of maize *CLE* genes. Nature Plants, 2021, 7 (3): 287-294
- [21] 徐倩, 王娟, 张茂林, 刘强, 董端, 刘春晓, 关海英, 刘铁山, 汪黎明, 雷玉明, 何春梅. 利用基因编辑技术创制玉米自交系新等位突变. 山东农业科学, 2022, 54 (2): 1-5
- [22] 刘超, 李月, 代培红, 姚正培, 刘晓东. 玉米 *CKXs* 基因组编辑载体的构建. 分子植物育种, 2020, 18 (21): 7051-7055
- [23] 穆路遥. 三个玉米百粒重候选基因基因编辑材料的创制. 武汉: 华中农业大学, 2022
- [24] 张翔, 史亚兴, 卢柏山, 武莹, 刘亚, 王元东, 杨进孝, 赵久然. 利用 CRISPR/Cas9 技术编辑 *BADH2-1/BADH2-2* 创制香味玉米新种质. 中国农业科学, 2021, 54 (10): 2064-2075
- [25] 祁显涛, 李燕敏, 谢传晓. 玉米甜、糯性状育种的遗传学基础. 玉米科学, 2017, 25 (2): 1-5
- [26] 魏晓禹. 玉米 *ZmPCK2* 基因的功能分析. 吉林: 吉林农业大学, 2018
- [27] Shi J, Gao H, Wang H, Lafitte H R, Archibald R L, Yang M, Hakimi S M, Mo H, Habben J E. *ARGOS8* variants generated by CRISPR-Cas9 improve maize grain yield under field drought stress conditions. Plant Biotechnology Journal, 2017, 15 (2): 207-216
- [28] Zhang Z, Zhang X, Lin Z, Wang J, Liu H, Zhou L, Zhong S, Li Y, Zhu C, Lai J. A large transposon insertion in the *stiff1* promoter increases stalk strength in maize. The Plant Cell, 2020, 32 (1): 152-165
- [29] Li Y, Zhu J, Wu H, Liu C, Huang C, Lan J, Zhao Y, Xie C. Precise base editing of non-allelic acetolactate synthase genes confers sulfonylurea herbicide resistance in maize. The Crop Journal, 2020, 8 (3): 449-456
- [30] 冷燕, 孙康泰, 刘倩倩, 蒲阿庆, 李翔, 万向元, 魏珣. 全球基因编辑作物监管趋势研究. 中国生物工程杂志, 2021, 41 (12): 24-29

(收稿日期: 2023-05-08)

(上接第 14 页)

《种子法》有效促进种业振兴具有十分重要的作用。

从我国种业整体水平看, 现代种业发展的工作要点明确提出建设现代种业强国, 要加快提升品种创新能力、企业竞争能力、供应保障能力和依法治理能力。种子质量优良是提升种业竞争力、稳定供应保障力的基础^[2], 是直接决定粮食产量、确保增产增收的重要前提, 也是促进我国种业提质升级走向国际市场的关键因素。与时俱进地修订国家标准, 建立严格的种子质量控制指标是立足我国种业长足发展、提高种业质量水平的有力措施。

2021 年实施的 GB 4404.1—2008《粮食作物种子 第 1 部分: 禾谷类》第一号修改单中对玉米种子单交种大田用种单粒播种子的质量指标进行了调整, 但对非单粒播种子的质量指标未做调整。根据近 7 年天津市种子质量检测数据, 参照现行的国家种子质量标准, 结合行业发展需求、种子生产经营及质量管理工作实际, 建议将玉米(单交种)的净度质量指标由不低于 99.0% 上调至不低于 99.4%, 发芽率(非单粒播)质量指标由不低于 85% 提高至不

低于 88%, 纯度质量指标调整为不低于 96.4%, 水分质量指标暂不作调整。调整后的质量指标可以保障本市企业生产的 95% 以上的玉米种子和市场监管抽查的 98% 以上的玉米商品种质量合格。通过适当提高种子质量标准, 可以提升种子企业在生产、加工、贮藏各个环节的质量控制水平, 倒逼种子企业加快推动技术进步^[3], 同时淘汰一批制种管理水平低的小型种子公司, 净化种业市场。因此, 保障和提高我国种子质量是开展农业生产活动的基础和关键, 对加速推广商品化的高质量种子、保障粮食生产安全、推动种业高质量发展具有重要的技术支撑作用。

参考文献

- [1] 李丹, 王晓玉, 杨玉, 朱明东, 段永红, 谢红军, 邓晶, 余应弘. 主要农作物种子质量标准体系现状与展望. 中国种业, 2023 (2): 1-9
- [2] 汤健良. 杂交水稻种子企业质量控制标准及质量保障措施. 中国种业, 2021 (6): 20-23
- [3] 杜晓伟, 周泽宇, 詹儒林, 张力科. 以新发展理念为统领加强种子质量标准体系建设. 中国种业, 2019 (4): 1-5

(收稿日期: 2023-03-20)