

江苏省糯玉米育种研究进展及产业发展趋势

张振良¹, 陆虎华¹, 黄小兰¹, 宋旭东¹, 薛林^{1,2}, 陈国清^{1,2},
郝德荣¹, 冒宇翔¹, 周广飞¹, 石明亮¹

(1. 江苏沿江地区农业科学研究所, 江苏 南通 226541;

2. 江苏省现代作物生产协同创新中心, 江苏 南京 210095)

摘要: 简要介绍了糯玉米的遗传特性及国内外糯玉米育种研究进展, 重点阐述了江苏省糯玉米育种研究进展并总结了四个鲜明的特点, 对目前江苏省糯玉米育种存在的问题进行了分析并提出了应对策略, 最后展望了江苏今后糯玉米产业的发展趋势, 为江苏省糯玉米育种及产业在玉米调整结构、转方式形式下如何实现高质量发展提供技术参考。

关键词: 江苏省; 糯玉米; 育种; 问题; 产业

中图分类号: S513

文献标识码: A

文章编号: 1672-755X(2020)02-0065-05

Development Trends of Waxy Corn Breeding and Industry in Jiangsu

ZHANG Zhen-liang¹, LU Hu-hua¹, HUANG Xiao-lan¹, SONG Xu-dong¹, XUE Lin^{1,2},
CHEN Guo-qing^{1,2}, HAO De-rong¹, MAO Yu-xiang¹, ZHOU Guang-fei¹, SHI Ming-liang¹

(1. Jiangsu Yanjiang Institute of Agricultural Sciences, Nantong 226541, China;

2. Jiangsu Collaborative Innovation Center for Modern Crop Production, Nanjing 210095, China)

Abstract: The genetic characteristics of waxy maize and research progress of their breeding at home and abroad are briefly introduced. And four distinct characteristics of the progress are summarized. The existing problems of waxy maize in Jiangsu are analyzed and the corresponding coping strategies are proposed. Finally, the future development trend of waxy corn industry in Jiangsu is forecast. It will provide a reference for how to achieve high-quality development of glutinous corn breeding and industry in Jiangsu province under the structure adjustment and transformation mode of corn.

Key words: Jiangsu province; waxy maize; breeding; problem; industry

糯玉米是玉米属的一个亚种, 是16世纪玉米传入中国后经过喜糯性食物习俗的人们筛选改良而形成的一种新的玉米类型^[1]。我国糯玉米遗传资源广泛, 尤其是广西、云南、贵州一带保留有丰富的地方品种, 也是世界上公认的糯玉米起源中心。糯玉米籽粒中含有丰富的营养物质, 淀粉含量70%~75%, 蛋白质含量10%以上, 脂肪含量4%~5%, 维生素含量2%左右, 还含有谷胱甘肽、硒、钙、核黄素、镁和脂肪酸等丰富的营养物质^[2]。糯玉米籽粒淀粉几乎为100%支链淀粉, 因其营养丰富、适口性好、风味独特、易于消化吸收等优良特性而赋予其广泛的用途, 其果穗不仅可蒸煮鲜食, 还可用于速冻加工、制作罐头等, 具有较

收稿日期: 2020-02-15

基金项目: 南通市科技项目(JC2018155); 江苏省重点研发项目(BE2018325); 江苏现代农业产业技术体系建设项目(JATS[2018]084)

作者简介: 张振良(1987—), 男, 山东东平人, 硕士, 助理研究员, 主要从事糯玉米育种工作。

高的经济价值。随着人民生活品质和保健意识的不断提高,鲜食糯玉米市场需求不断提升,糯玉米育种、生产得到快速发展。糯玉米生长周期短,可满足不同种植方式的需要,农民种植经济收益高。糯玉米淀粉不仅粘滞性强,而且透明度高,是多种工业(如食品加工、纺织等)的重要原料。近年来,江苏省鲜食糯玉米生产经过快速发展,种植面积逐年增加,已成为江苏优势特色产业,目前已由南通、南京和盐城等地为主种植发展到全省各个区域均有种植^[3]。本文通过对鲜食糯玉米育种实践的回顾,简要介绍了糯玉米的遗传特性及国内外糯玉米育种研究进展,总结江苏省糯玉米育种进展、存在问题及应对策略,并分析糯玉米产业发展趋势,旨在为江苏现代农业高质量发展提供参考。

1 糯玉米遗传特性

控制糯玉米糯质特性的 Wx 基因位于第9号染色体短臂上,该基因活性被抑制导致胚乳中产生的淀粉几乎全为支链淀粉,其籽粒表现为糯质特性。糯质籽粒成熟后蒸煮呈黏性,因此称为黏玉米;胚乳呈角质不透明、无光泽的蜡质状,也称为蜡质玉米。Mason-Gamer 等对控制糯质特性的基因序列进行了研究,结果表明其野生型 Wx 基因包含14个外显子和13个内含子,全长约3 718个碱基^[4]。20世纪育种实践长期把糯质基因当作标记进行研究,并鉴定出50多个 Wx 等位基因,变异位点遍布整个 Wx 基因^[5],大部分变异是由相同转座子插入不同位置或不同转座子插入相同位置造成的^[6],而缺失突变容易造成一些稳定突变。田孟良等对我国西南地区糯玉米 Wx 基因序列分析表明,我国糯玉米可能是由硬粒型玉米通过单基因突变产生,该基因第10外显子发生15个碱基的缺失,导致糖基转移酶结构域功能缺失,该位点突变是中国糯玉米独特的突变机制^[7]。

2 国内外糯玉米育种研究进展

糯玉米因其独特的籽粒特性使其育种目标等明显不同于普通玉米。糯玉米品种不但要具有高产、稳产、多抗、广适的优良特性,还要满足营养品质高、口感风味好等多方面的要求。尽管糯玉米育种难度较普通玉米大,经过长期的育种实践和摸索,国内外糯玉米育种也取得了较大的进展。目前,我国糯玉米品种主要用作鲜食和速冻加工,而国外尤其美国的糯玉米主要用作淀粉加工和饲料。

2.1 我国糯玉米育种发展概况

糯玉米虽起源于我国,但我国直到20世纪70年代才开始糯玉米杂交种选育工作。1975年,烟台市农科所利用糯质突变体-衡白522育成我国第一个糯玉米品种烟单5号;1989年,山东省农科院育成鲁糯玉1号。因为当时市场需求较小且生产条件不允许,上述育成品种均没有大面积推广应用,我国糯玉米育种也一直处于低迷状态。直到20世纪90年代,我国糯玉米育种进程才逐步加快,先后选育出一些像苏玉糯1号、中糯1号等优良的品种。但此阶段,制约糯玉米发展的主要因素仍然是品种类型偏少,且糯玉米品种中存在的主要问题是产量和品质之间的突出矛盾,这严重影响了糯玉米的大面积推广应用及产业化发展水平。21世纪以来,糯玉米推广面积由本世纪初的7万多公顷增长至目前的80万公顷左右,糯玉米育种和产业得到快速发展。优异糯玉米种质资源的挖掘、创制和优良品种的选育在此阶段发挥了关键作用,尤其是像苏玉糯2号、苏玉糯5号、苏科花糯2008、京科糯2000等优良品种的出现,解决了糯玉米品种产量和品质不能兼顾的问题,大大提高了我国糯玉米品种水平,促进了糯玉米产业发展。目前糯玉米育种和推广应用已在我国取得了较大成功,已逐渐形成以鲜食、速冻加工为主,淀粉加工和糯质饲料为辅的发展方向。

2.2 国外糯玉米育种发展概况

尽管糯玉米起源于我国云南、广西、贵州一带,但最早关于糯玉米记载的现代文献出现在美国农业部的档案中。1908年,美国传教士 Farnham J M W 从云南征集了几个玉米地方品种寄到美国农业部,同年5月,植物学家柯林斯把从中国寄来的玉米种子进行种植观察,对其特性进行了详细研究,他把起源于中国并控制糯性的隐性突变基因定名为“ Wx ”,该类型玉米称为“中国蜡质玉米”。随后,在缅甸(1915年)、菲律宾(1920年)相继发现了糯玉米。 Wx 基因在相当长一段时期的遗传试验中只是作为标记基因而种

植,对育种研究很少。1922年首次发现糯玉米淀粉类型明显区别于普通玉米,糯玉米淀粉遇碘变红色,而普通玉米则是变蓝色。直到1936年,研究者发现糯玉米淀粉性质和当时进口的木薯块根淀粉性质相似,加之当时木薯块根淀粉进口日益困难,于是对糯玉米进行大规模育种试验,于1942年育成了第一个糯玉米品种并进行商业性生产。70年代初,糯玉米在遭受病害侵袭后表现出独特的抗性,使其再次成为研究的热点。美国生产的糯玉米主要用作淀粉加工和饲料,基本不作为鲜穗和速冻加工类产品消费。随着糯玉米淀粉用途的不断挖掘,欧洲、加拿大等国家的糯玉米种植面积也逐渐扩大,并初具规模,这使得育种家不断创新和改良糯玉米品种。

3 江苏省糯玉米育种研究进展

20世纪80年代初,江苏各育种单位着力开展糯玉米地方种质资源的收集、鉴定和选育工作,是我国较早开展糯玉米育种工作的省份之一。1992年江苏沿江地区农业科学研究所育成的苏玉糯1号,是我国第1个通过国家审定的糯玉米品种。随后,糯玉米育种蓬勃发展,江苏凭借糯玉米育种起步早、遗传资源丰富等优越条件,在品种选育和推广应用方面取得了一系列成果。2000年至今,江苏省自主选育并通过审定的糯玉米品种已有近35个,其中国审品种有13个,占37%,如苏玉糯5号、苏科花糯2008等;在糯玉米品种创新和产业化研究方面获省部级以上奖励10余项,其中“优质鲜食糯玉米种质创新与应用”成果获江苏省科技进步二等奖、“鲜食玉米新品种及产业化关键技术集成与推广”成果获2015年度江苏省农业技术推广奖二等奖、“鲜食糯玉米核心种质创制及系列品种选育与产业化应用”成果获2015年度中华农业科技奖二等奖,获得植物新品种权20多项,如通系5等。目前江苏省糯玉米种植面积在6.7万公顷左右并有逐年增加的趋势,已成为我国糯玉米种植面积最大的省份。

近几年,江苏省各育种单位通过品种创新先后选育出一系列苏玉糯、苏科糯等系列品种,为江苏省乃至全国鲜食糯玉米产业化发展提供了保障,例如国审品种苏玉糯1502、苏科糯8号、苏科糯10号、苏玉糯1508、苏科糯1501、苏玉糯602等,省审品种晶彩糯、苏科糯6号、苏科糯9号、苏科糯12号。经过长期的探索和创新,糯玉米育种形成了鲜明的区域特色,表现出4个特点:1)单产逐年提高。早期育成的第1代糯玉米品种果穗小,产量较低;2000年以后,糯玉米选育在保持品质的同时进一步注重产量提高,育成的第2、第3、第4代糯玉米品种产量逐步提高,尤其目前大面积推广的第4代糯玉米品种产量已达 $12\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[8]。2)品质性状逐步改良。省品种审定委员会对糯玉米品种审定标准逐年提高,每年组织评审专家在最佳采收期进行品尝打分,根据评分标准,85分以下的杂交组合审定不通过,采用宁缺毋滥的方法评审鲜食糯玉米品种。因此,相继育成一批口感好、产量高和商品性佳有推广潜力的糯玉米品种,尤其是苏玉糯2号、苏玉糯5号自2008年起一直被作为国家黄淮海和东南鲜食糯玉米区试对照品种,成为我国鲜食糯玉米育种的标杆。此外,目前市场上推广种植较多的苏科糯2008、苏玉糯602、苏玉糯606等品种,其品质均超过或相当于对照,具有良好的推广前景。3)抗逆性逐渐增强。由于江苏省独特的光、温、水等气候条件,使得该区域对品种的抗逆性要求较高。随着现代生物技术的发展,对糯玉米抗病性、抗倒性的遗传机理研究均取得较大进展,并已开发出相应的分子标记,通过常规育种技术和分子育种技术的结合,育成品种的抗病性和抗倒性显著增强。4)品种类型多元化。育种家们根据不同的市场需求,培育了具有特殊品质和色彩鲜艳的专用型和兼用型品种,例如高叶酸、高甜度等糯玉米品种,极大丰富了市场上糯玉米品种类型,满足不同消费者的需求。

4 江苏省糯玉米育种中存在的问题及应对策略

目前,江苏省糯玉米品种选育和推广工作虽然取得了快速发展,但仍存在一些问题。

1)糯玉米种质有待进一步改良和创新。各育种单位一直注重国内外糯玉米种质的引进和改良,创制出一批优异种质,审定通过了一系列糯玉米新品种并得到大面积推广应用,但多数品种亲本血缘关系较近,遗传基础比较狭窄。沈锦根等^[9]和刘丽君等^[10]对糯玉米自交系的遗传多样性研究表明,通系5血缘或衡白522血缘自交系为主要亲本材料,亲本材料遗传多样性略微偏低。为了选育出有影响力的糯玉米

新品种,扩大新品种的遗传多样性,须进一步提高优异糯玉米种质资源挖掘与创新水平,创制出遗传资源广泛的优异种质,有效增加骨干育种材料的遗传多样性,探索新的杂优模式,从而选育出遗传多样性广、配合力高的优异种质和有影响力的糯玉米品种。

2)糯玉米品质性状遗传机理研究有待于进一步加强。控制糯玉米鲜食品质的相关基因之间存在复杂的互作和调控网络,增加了自交系选育和杂交组合组配的不确定性,传统育种技术手段已很难培育出品质更优的自交系或品种。因此,须综合应用现代生物技术、生物统计学、数量遗传学等多学科交叉的手段,深入探讨糯玉米种质糯性、甜度、果皮厚度、皮渣率等影响糯玉米鲜食品质的遗传及生理生化机理,探明影响糯玉米品质性状的调控网络,为糯玉米分子设计育种提供理论支撑。

3)育种方法有待进一步改善。利用常规育种手段虽然已育成一系列糯玉米品种,但面对大规模的育种群体和种质材料,传统的育种技术就凸显出其效率低和盲目性大的特点。随着分子育种技术的快速发展,利用先进的分子技术培育优异品种已成为现代育种重要手段。江苏糯玉米育种需进一步加强分子育种技术和传统育种方法的结合,进一步提高育种精准性,加快育种进程。利用DH育种技术、分子标记辅助选择技术^[11]、基因编辑技术^[12]、全基因组选择技术^[13]等进行快速精准筛选、创制优异种质并精准组配杂优组合,解决常规育种方法难以解决的产量、品质、抗性、适应性等多种优异性状聚集的难题。

4)糯玉米评价体系有待进一步完善。目前我国糯玉米仍然以食用青果穗为主,其鲜食品质或适口性成为衡量品种的重要标准,如何客观准确地评价糯玉米品质是急需解决的关键问题。现行的国家或省区试方案中,仍然是在糯玉米适宜采收期组织同行专家品尝打分为主,主观人为因素影响较大,缺乏客观有效的测量手段^[14-16],对影响糯玉米口感的皮渣率、甜度、糯性等因子还缺乏客观高效的测量方法。因此,为进一步提高品质测量的准确性和育种效率,要进一步增强糯玉米鲜食品质的生理生化研究,探明糯玉米各品质性状间的相关性并摸索出简单高效的检测手段,逐步完善糯玉米综合评价体系,制定出简单、可靠、高效的鲜食糯玉米品质评价标准。

5 江苏省糯玉米产业发展趋势

江苏省鲜食糯玉米产业发展良好,种植鲜食糯玉米收益大大高于种植其它粮食作物收益,家庭农场、专业合作社、企业种植糯玉米的热情高涨,且随着糯玉米加工产业的快速发展,鲜食糯玉米的加工产品正逐步进入千家万户,且需求量日益增大,因此,江苏省糯玉米产业化发展前景广阔。

1)优化糯玉米产业发展模式。借助“科研单位+推广机构+企业+合作社+种植大户”的运作模式,实行种植区域化、品种专用化、生产标准化、加工规模化的产业化经营模式,集种植业、食品加工业、龙头企业于一体,走出育、产、加、销一体化的发展之路,逐步形成新型农业模式,从而推动江苏省糯玉米产业化高质量发展。

2)打造绿色生态型糯玉米产业。目前,我国居民消费观念正逐步向享受型消费过度,休闲农业和绿色观光日益受到市民的追捧。生态观光农业是近几年发展起来的以农业和农村为载体的新兴产业,在促进一、二、三产业融合发展的同时,可为广大市民提供观光、采摘休闲旅游等,该产业可将糯玉米产业与生态相结合,极大丰富和满足了消费者对高品质生活的需求。

3)市场分级,打造鲜食糯玉米知名品牌。鲜食糯玉米正逐渐成为居民日常消费的蔬菜或休闲食品。随着人们生活水平的不断提高,高品质鲜食糯玉米的市场需求也越来越大。通过创新进一步培育出品质高端、独具特色的糯玉米品种,将会极大促进特色农业发展。在鲜食糯玉米产业化的基础上,培育高端糯玉米品种,打造知名糯玉米产品,进一步加大糯玉米市场宣传力度,创建有影响力的品牌,提高糯玉米产品的竞争力。

4)高甜度糯玉米品种作为发展重点。近年来,糯玉米品质的糯性有较大改善,但糯玉米甜度还不够,影响了消费者对高品质的需求。为进一步提升鲜食玉米的消费档次,实现品种类型多样化,下一步拟进一步加强高甜度糯玉米种质的创制和高甜度糯玉米杂交种的培育。高甜度糯玉米品种的培育能有效解决糯玉米糯而不甜、甜糯结合型玉米不适合加工的缺陷,该类型品种深受消费者青睐,具有较为广阔的消费市场。

5)进一步加大鲜食糯玉米加工规模。目前种植户和生产企业为了避免果穗储运对品质造成影响,一

般根据市场供需合理安排就近种植。尽管从目前消费形式和消费数量来看,糯玉米仍将以果穗青食为主,但考虑到鲜果穗上市周期较短及具有较强的季节性,短时间内很难把鲜果穗全部销售完,因此,急需进一步发展糯玉米加工产业,保证糯玉米四季供应,满足全国各地尤其是偏远地区消费者的需求。

6)糯玉米秸秆的进一步利用。糯玉米除青果穗鲜食以外,及时把鲜绿的糯玉米秸秆做成青贮饲料,可充分利用秸秆资源,通过种养结合,延长鲜食玉米产业链。前人研究表明,利用糯玉米秸秆做成的青贮饲料喂养奶牛可显著提高产奶量,且乳品质有较大改观^[17]。

参考文献:

- [1] 宋同明. 糯玉米与 Wx 基因[J]. 玉米科学,1993(2):36-40
- [2] 李艳茹,吉士东,郑大浩. 糯玉米的营养价值和发展前景[J]. 延边大学农学学报,2003,25(2):145-148
- [3] 纪从亮. 江苏鲜食玉米产业化开发的实践与启示[J]. 江苏农村经济,2015(8):26-28
- [4] Mason-Gamer R J, Weil C F, Kellogg E A. Granule-bound starch synthase: structure, function, and phylogenetic utility[J]. Molecular Biology and Evolution,1998,15(12):1658-1673
- [5] Liu J, Rong T, Li W. Mutation loci and intragenic selection marker of the granule-bound starch synthase gene in waxy maize[J]. Molecular Breeding,2007,20(2):93-102
- [6] Klös gen R B, Gierl A, Schwarz-Sommer Z, et al. Molecular analysis of the waxy locus of Zea mays[J]. Molecular and General Genetics,1986,203(2):237-244
- [7] 田孟良,黄玉碧,谭功燮,等. 西南糯玉米地方品种 Waxy 基因序列多态性分析[J]. 作物学报,2008,34(5):729-736
- [8] 袁建华,陈艳萍,赵文明,等. 江苏省糯玉米种质改良和品种创新[J]. 江苏农业学报,2012(5):49-54
- [9] 沈锦根,胡加如,薛林,等. 江苏鲜食糯玉米育种杂种优势群及杂优模式分析[J]. 江苏农业学报,2007(5):25-28
- [10] 刘丽君,张丹,薛林,等. 基于 SSR 标记的江苏沿江地区糯玉米种质资源遗传多样性研究[J]. 江苏农业学报,2011,27(4):723-729
- [11] Leng Y, Lv C, Li L, et al. Heterotic grouping based on genetic variation and population structure of maize inbred lines from current breeding program in Sichuan province, Southwest China using genotyping by sequencing (GBS)[J]. Molecular Breeding,2019,39(3):102-108
- [12] Dong L, Qi X, Zhu J, et al. Super-sweet and waxy: meeting the diverse demands for specialty maize by genome editing[J]. Plant Biotechnology Journal,2019,17(10):1853-1855
- [13] Fristche-Neto R, Akdemir D, Jannink J L. Accuracy of genomic selection to predict maize single-crosses obtained through different mating designs[J]. Theoretical and Applied Genetics,2018,131(5):1153-1162
- [14] 刘萍,陆卫平,陆大雷. 鲜食糯玉米品质差异及品质评价理化指标的筛选[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版),2009,30(3):16-21
- [15] 宋雪皎,马兴林,关义新,等. 影响糯玉米鲜食品质因素的研究[J]. 玉米科学,2005,13(1):115-118
- [16] 龚魁杰,陈利容,朱立贵,等. 鲜食糯玉米采后与食用品质相关的糖代谢变化[J]. 食品科技,2011(12):182-185
- [17] 穆秀明,闫贵龙,曹春梅,等. 饲喂糯玉米秸秆对奶牛产奶量和乳品质的影响[J]. 饲料研究,2012(10):50-52

(责任编辑:谭彩霞)

声 明

1. 本刊已许可相关合作单位以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文,相关著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。

2. 本刊已加入“中国知网”学术期刊优先数字出版平台。

作者向本刊提交文章发表的行为视为同意本刊上述声明。

本刊编辑部