

“甜味糯”新型鲜食玉米及其代表品种京科糯768的选育

徐丽, 史亚兴, 席胜利, 俞媛年, 卢柏山, 赵久然

(北京市农林科学院玉米研究所 / 玉米DNA指纹及分子育种北京市重点实验室, 北京 100097)

摘要: 本研究阐述了“甜味糯”新型鲜食糯玉米及其代表品种的培育。通过对糯质玉米的种质创新和改良提升, 实现果穗上的所有籽粒都是糯质, 在适采期内, 糯质籽粒糖度值平均可达到12度以上, 显著高于普通糯玉米, 带有明显的甜味, 形成“糯中有甜”的特殊口感品质。北京市农林科学院鲜食玉米创新团队从2011年开始“甜味糯”种质创新和品种培育工作, 利用创新集成的“大群体、严选择、单株配合力测定”以及“优系聚合”等育种方法, 并通过大量田间表型鉴定和籽粒糖度、口感品质等鉴定评价, 创制选育出“甜味糯”新型玉米优良自交系ZN3。以ZN3为骨干亲本, 组配育成京科糯768等“甜味糯”新型鲜食糯玉米系列新品种, 鲜籽粒糖度达14度以上, 具有籽粒甜度高、口感品质好、高产稳产、多抗广适、采收期长等综合优点。京科糯768被评为“全国十大优秀糯玉米品种”, 于2021年通过四大生态区国审, 适宜在全国鲜食玉米生态区种植。“甜味糯”玉米将是我国未来鲜食糯玉米的一个重要发展方向。

关键词: 甜味糯; 鲜食玉米; ZN3; 京科糯768

A New Type of Fresh Corn—Waxy Corn with Sweet Taste and the Representative Variety Jingkenuo768

XU Li, SHI Ya-xing, XI Sheng-li, YU Ai-nian, LU Bai-shan, ZHAO Jiu-ran

(Maize Research Institute of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences/Beijing Key Laboratory of Maize DNA Fingerprinting and Molecular Breeding, Beijing 100097)

Abstract: This paper describes a new type of fresh corn-waxy corn with sweet taste and the representative varieties. Through the innovation and improvement of waxy corn germplasm, all the grains of the waxy corn with sweet taste are waxy with 12% brix or higher on average sugar content during the suitable harvesting period, which is significantly higher than that of ordinary waxy corn. This type of corn is sweet and forms a special taste quality of “waxy with sweet”. In 2011, fresh corn innovation team of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences initiated the program of “waxy corn with sweet taste” germplasm innovation and variety cultivation. Using innovative and integrated breeding methods such as “high-quality, large-group, strict-selection”, “individual plant test”, and “elite lines aggregation”, and a large number of field phenotype identification and evaluation of grain sugar content and taste quality, we produced the waxy corn backbone inbred line ZN3. Using ZN3 as parent, a waxy corn with sweet taste variety Jingkenuo768 was released with 14% brix on the sugar content of fresh kernels. Jingkenuo768 shows the overall advantage, such as high sweetness in kernels, good taste quality, high and stable yield, multi-resistance and wide adaptability, long harvest periods, etc., and has been rated in list of “Top Ten Excellent Variety in China”. Jingkenuo768 passed

收稿日期: 2022-07-26 修回日期: 2022-08-20 网络出版日期: 2022-09-06

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220726001>

第一作者研究方向为鲜食玉米种质创新, E-mail: xsym928@sina.cn; 史亚兴为共同第一作者

通信作者: 赵久然, 研究方向为玉米遗传育种, E-mail: maizezhao@126.com

卢柏山, 研究方向为鲜食玉米遗传育种, E-mail: maizelu@126.com

基金项目: 北京市农林科学院创新能力建设课题(KJCX20210423); 北京市农林科学院青年科研基金(QNJJ202130); 2022年现代农业产业技术体系北京市创新团队(BAIC02-2022)

Foundation projects: Innovation Capacity Building Project of Beijing Academy of Agriculture and Forestry (KJCX20210423); Youth Scientific Research Fund of Beijing Academy of Agriculture and Forestry (QNJJ202130); Beijing Innovation Team of Modern Agricultural Industry Technology System in 2022(BAIC02-2022)

the national examination at four ecological zones in 2021, suitable for planting in the national fresh corn ecological zones. The waxy corn with sweet taste will lead the direction of waxy corn development in the future.

Key words: waxy corn with sweet taste; fresh corn; ZN3; Jingkenuo768

鲜食玉米是在乳熟期采收鲜嫩果穗作为水果、蔬菜进行食用的一类特用玉米^[1],具有口感好、品质优、营养丰富、生长周期短、种植效益高等优点^[2-3],已成为我国重要果蔬型农产品,是现代农业高质量发展背景下,助力我国乡村振兴、农业提质增效、农民增收增产的重要特色作物。我国鲜食玉米年种植面积已达2500万亩左右,年产鲜果穗约700亿根,成为全球鲜食玉米最大生产国和消费国^[4]。

鲜食玉米主要包括甜玉米、糯玉米、甜加糯玉米3种类型。甜玉米起源于美洲大陆,其中南美洲最早种植的本地甜玉米是Chullpi综合种,主要分布在秘鲁南部。Chullpi综合种具有短、宽、卵形果穗、穗行数较多的特点。在厄瓜多尔等地发现其衍生类型,称为Chuspillo^[5-6]。1779年,甜玉米引入欧洲,之后逐渐在欧美、亚洲等地发展利用起来。美国是研究和利用甜玉米最早的国家,1836年育成第一个甜玉米品种Darling Early,该品种成为很多重要甜玉米品种的前身。目前美国已有500余个杂交种商品化生产,成为全球最大的甜玉米消费国^[7]。甜玉米的甜质特性受一个或多个隐性基因控制,目前已发现至少14个胚乳隐性突变基因,如*su1*、*su2*、*sh1*、*sh2*、*bt1*、*bt2*、*du1*、*ae1*、*se1*等,其中8个已应用于商业化育种^[8-13]。当前甜玉米生产上使用最多的是*sh2*型超甜玉米。该类型甜玉米乳熟期籽粒含糖量可达20%以上,口感甜脆多汁、皮薄无渣,但内容物少,口感上无糯性。

糯玉米是玉米传到中国广泛种植后产生的一种新的变异类型,我国西南地区(云南、广西)是公认的起源中心。我国早期种植的糯玉米多为地方农家种,有较明显的3种生态区分布,其中云桂川高地生态区种质遗传多样性最广、利用最多,如四路糯、紫秆糯、曼金兰黄糯等^[14];杭嘉湖平原早熟生态区种质早熟、耐湿热,如宝山白糯、川沙紫糯等;北方高产生态区种质多表现为产量高^[4,14]。中糯1号^[15]、垦粘1号^[16]、苏玉糯1号^[17]等是我国早期应用较多的糯玉米品种,其亲本均由我国地方种质选育而成,普遍具有早熟和硬质型胚乳等特点。21世纪以来,随着京科糯2000等新一代鲜食玉米杂交种的育成审定和示范推广,我国糯玉米育种和产业化进入了快速发展阶段^[18]。京科糯2000一经推广便

受到广大种植户、加工企业、消费者等的普遍认可,连续十余年推广面积占我国糯玉米总面积的50%以上,最大时达到75%。京科糯2000品种的成功选育和大规模产业化应用,开创了我国糯玉米新的育种思路和杂优模式,引领和极大地促进了我国糯玉米育种和产业化发展。京科糯2000也成为近20年来我国很多糯玉米品种的前身或重要核心种质^[1]。与甜玉米类似,糯玉米在遗传基因类型上也表现为胚乳突变体,由单隐性基因*waxy*控制^[19-20]。糯玉米(*wxwx*)籽粒中几乎100%为支链淀粉,口感粘软清香,含糖量低。参照GB12295-90《水果、蔬菜制品可溶性固形物含量的测定-折射仪法》,利用手持折光糖度计检测,糯玉米乳熟期籽粒糖度一般为8度左右,口感上无明显甜味。

为满足市场多元化需求,育种人员聚合甜、糯玉米二者优点,创制育成了甜加糯型玉米,即在一个果穗上同时具有甜质籽粒和糯质籽粒,二者呈1:3随机分布^[21-22]。该类型玉米目前已成为我国鲜食玉米一种主要类型。与纯糯玉米相比,甜加糯型玉米果穗籽粒平均甜度提高,口感品质提升。但经生产实践和对产业需求调研,由于甜、糯两种籽粒自身特性,如籽粒淀粉含量、采收持续期等不同,因此甜加糯型玉米不适宜速冻加工;另一方面,生产上甜加糯型玉米的选育需要创制甜糯双隐性自交系(*sh2sh2wxwx*)^[23-24],该类型自交系种子淀粉含量低,多存在发芽率低、出苗弱、抗性差等问题,限制了甜加糯型玉米的进一步发展。北京市农林科学院玉米研究所根据我国鲜食玉米生产现状及未来市场需求,在开展甜加糯型玉米种质创制和培育农科玉368、农科糯336等系列品种同时,于2011年开始了“甜味糯”等新型鲜食玉米的种质创新和品种培育工作。在种质创新方面,通过大量种质资源评价与鉴定,创制出籽粒含糖量高、有明显甜味的糯玉米新种质。在品种培育方面,经过近10年不断选育、测试及鉴定,培育的“甜味糯”新型鲜食玉米品种京科糯768通过国家审定。赵久然研究员在2015年全国鲜食玉米大会上提出“甜味糯”型鲜食玉米将是未来鲜食糯玉米的一个重要发展方向,阐述了“甜味糯”型玉米的概念以及与甜加糯型玉米的区别,并报告了此项工作的相关进展,得到业内专家

的支持与认可。

1 “甜味糯”新型鲜食玉米的概念

“甜味糯”型玉米与甜加糯型玉米,在亲本自交系选育、遗传特点、果穗表型及用途等方面均有区别。

甜加糯型玉米,是以纯糯质玉米自交系和甜、糯双隐(或多隐)自交系为两个亲本进行杂交(表1),在其 F_1 植株的果穗上产生甜、糯籽粒分离,既有

甜质籽粒又有糯质籽粒,两种籽粒分别独立存在(图1),随机分布。目前生产上的主流甜加糯品种其甜粒与糯粒数量比约为1:3^[25]。甜加糯型玉米口感甜糯相宜,鲜果穗主要作为果蔬进行鲜售上市,少量用于真空包装。因含有甜质籽粒,甜加糯型玉米采收期较短,在储运、速冻加工过程中极易出现色差、棒面不平、甜粒容易破裂等问题,导致外观整齐性降低,因此甜加糯型玉米主要用于鲜食,不适合速冻加工。

表1 甜加糯型与“甜味糯”型玉米主要区别

Table 1 Main differences between “sweet & waxy” corn and “waxy corn with sweet taste” corn

类型 Type	母本 Maternal parent	父本 Paternal parent	杂交当代种子 F_1 seed	商品果穗 F_2 ear	采收期 Harvest period	用途 Usage
甜加糯型玉米 Sweet & waxy corn	糯质自交系($wxwx$), 或甜糯双隐性自交系 ($sh2sh2wxwx$)	甜糯双隐性自交系 ($sh2sh2wxwx$),或糯质自交系 ($wxwx$)	糯质型	甜粒和糯粒独立存在,一般呈1:3比例	约5 d	鲜食、真空包装
甜味糯型玉米 Waxy corn with sweet taste	糯质自交系($wxwx$)	糯质自交系($wxwx$)	糯质型	全部为糯粒	10 d以上	鲜食、果穗速冻加工、籽粒速冻加工、真空包装



A: 甜加糯型玉米乳熟期果穗,箭头指甜质籽粒;B: “甜味糯”型玉米乳熟期果穗;C: 甜加糯型玉米成熟期果穗,箭头指甜质籽粒;
D: “甜味糯”型玉米成熟期果穗

A: Ear of sweet & waxy corn at milk stage, arrow points to sweet kernels; B: Ear of waxy corn with sweet taste at milk stage; C: Ear of sweet & waxy corn at maturation stage, arrow points to sweet kernels;

D: Ear of waxy corn with sweet taste at maturation stage

图1 甜加糯与“甜味糯”型鲜食玉米果穗

Fig.1 Ears of sweet & waxy corn and waxy corn with sweet taste

“甜味糯”型玉米,是以两个纯糯玉米自交系为双亲进行杂交组配,其 F_1 植株上的果穗全部为糯质籽粒(图1);在适采期内,籽粒糖度可达到12度以上,显著高于普通糯玉米(一般为8度),口感有明显的甜味。“甜味糯”型玉米糯中带甜,结合了甜、糯以及甜加糯3种类型玉米的优点,除了能鲜售上市、真空包装外,还可用于速冻加工,在速冻加工后果穗籽粒饱满、颜色一致、外观整齐。另一方面,“甜

味糯”型鲜食玉米种子为糯质籽粒,与甜加糯型玉米相比,在选育过程、亲本繁育及杂交种子生产等方面均有优势,符合产业发展需求,将大有发展潜力。

2 “甜味糯”型玉米新品种京科糯 768 的选育

2.1 育种目标及杂优模式的确立

以引领并满足市场需求为导向,确立了以提高糯玉米籽粒含糖量为主,同时兼顾口感品质、产量、抗性及其适应性等性状的总体育种目标,以解决糯玉米无甜味、甜加糯型玉米不适宜速冻加工的生产问题,引领鲜食玉米产业发展方向,并满足人民日益增长的美好生活需求。

杂优模式的构建对指导糯玉米育种具有重要意义。北京市农林科学院玉米研究所突破传统上全部以硬粒型种质为基础的育种模式,积极探索引入并利用马齿型糯玉米种质。经过多年种质鉴定和大量育种实践,总结出马齿型糯玉米种质具有口感绵软、胚乳软质等特征,创新构建了“胚乳硬质型×胚乳软质型”杂交组配模式,并利用该模式先后育成京科糯2000、京科糯2000E、京科糯569等我国生产上主导糯玉米品种^[26-27]。因此,确定将该模式作为“甜味糯”型鲜食玉米品种选育的杂优模式,并依据该模式指导亲本自交系的选育和组配。

2.2 创制选育出 ZN3 等“甜味糯”新型优良糯玉米自交系

通过广泛收集国内外糯玉米种质,并进行种植评价,鉴定出我国优良糯玉米品种中糯2号,该品种具有高抗、广适、籽粒硬质、品质优良等特点,以其为基础种质构建了选系群体。首先,在 S_1 代分离世代,选择优株与自主选育的甜糯双隐型自交系 D6644 进行杂交,一方面以期导入甜质性状,并获得含糖量不同的甜、糯分离后代,另一方面获得的杂交或自交后代中均具有纯合隐性糯质基因,可显著提高育种效率;其次选择自交后代中糯质籽粒种植,在“大群体、严选择、单株配合力测定”等选系方法^[28-29]基础上,在果穗乳熟期,取果穗上半部,利用手持折光糖度计检测其中糯玉米籽粒的含糖量,并进行品尝鉴定,严格淘汰糖度在12度以下、口感不甜的果穗。其中“大群体”指在 $S_1 \sim S_3$ 世代扩大群体,每一代的选系群体达10000株以上,以保留优良基因。“严选择”主要关键点体现在:首先在苗期至灌浆期进行严格鉴定,淘汰出苗弱、农艺性状表现

不突出、抗性差的单株;其次“严选择”和“单株配合力测定”同步进行,即选优株做父本与优良测验种进行单株测试,并对测配组合进行严格考种鉴定,同时进行自交,以高品质为重要鉴定考核标准,在果穗适采期取果穗上半部进行严格糖度检测和品尝鉴定。根据两者鉴定结果,鉴定出优良单株。历经4年7代,累计从万余份鲜食玉米材料中,鉴定出优良糯玉米自交系 ZN3。

ZN3 自交系的主要特点为籽粒糯质,幼苗叶片绿色,叶鞘绿色。全株16片叶,植株整齐一致(图2)。株型半紧凑,叶色浓绿,叶中脉白色,叶缘绿色。株高160 cm,穗位高70 cm,雄穗分枝数7个,主轴长11 cm,护颖绿色,花药黄色,雄花小穗着生密度中等,雌穗花丝绿色。雌雄花期协调,花粉量大,果穗结实性好。果穗筒形,穗长10.1 cm,穗粗4.2 cm,穗行数14~16行,行粒数22粒,千粒重240 g,抗丝黑穗病、瘤黑粉病、大小斑病等鲜食玉米主要病害。出苗至收获93 d。乳熟期籽粒糖度为14度,口感有明显甜味。成熟后籽粒为硬质型,粒大饱满。



图2 ZN3 自交系大面积繁育田、植株及果穗

Fig.2 Large area breeding fields, plants and ears of ZN3 inbred lines

在选育 ZN3 的同时,以我国糯玉米核心种质京科糯2000为基础构建选系群体,利用“大群体选系、单株配合力测定”等育种方法^[28],在 S_3 代,群体扩大至15000株,并在每世代均挑选软质型籽粒进行种植,以硬质型种质 ZN3 为测验种并作为父本,进行靶向选育。历经4年7代,累计从20000余份鲜食玉米材料中,鉴定出优良软质型糯玉米自交系 CQ56。

2.3 利用“硬质型×软质型”杂优模式,选育出“甜味糯”型品种京科糯768

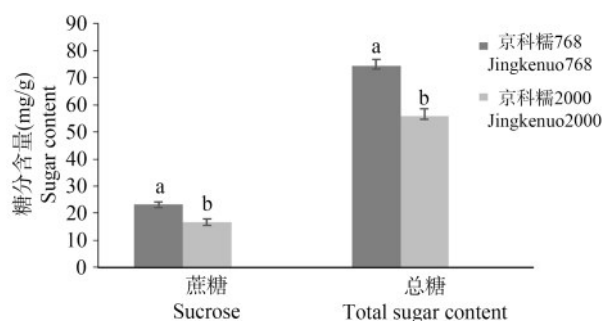
按照“胚乳硬质型×胚乳软质型”杂优模式,利用硬质型种质 ZN3 做测验种,对京科糯2000选系群体配制大量新组合,在北京、海南等多环境条件下,

一是鉴定出植株壮、叶色浓绿、苞叶绿度好、抗性强、产量高的组合,二是进一步鉴定出乳熟期籽粒含糖量在12度以上的组合。根据鉴定结果,聚焦优良组合,并最终选育出“甜味糯”新型鲜食玉米品种,命名为京科糯768。该品种籽粒糖度可达14度以上,显著高于普通糯玉米,有明显甜味,糯中带甜、口感绵软,清香嫩滑,并且具有熟期早、高产稳产、多抗广适、采收期长等综合优点。京科糯768及其亲本 ZN3、CQ56 的选育方法已获得国家发明专利授权^[30]。京科糯768于2019-2020年参加国家鲜食玉米东华北、黄淮海、东南、西南4个大区的区域试验,均表现突出,2021年通过4个生态区国审,适

宜全国地区种植。

2.4 京科糯 768 品质及农艺性状表现

2.4.1 籽粒含糖量 对授粉后 23 d 的京科糯 768 籽粒,参照 GB12295-90《水果、蔬菜制品可溶性固形物含量的测定-折射仪法》,利用 ATOGO PAL-1 手持糖度仪检测其糖度,5 次重复。结果表明,京科糯 768 鲜籽粒中糖度值平均为 14.2,较普通糯玉米品种京科糯 2000 提高 6 度以上。利用间苯二酚法^[31]测量籽粒中蔗糖含量,利用苯酚硫酸法^[32]测定其总糖含量,均 3 次重复。结果表明,京科糯 768 鲜籽粒中蔗糖含量为 23.2 mg/g,总糖含量 74.3 mg/g (图 3),较京科糯 2000 分别提高 39.8% 和 33.4%,提高幅度达极显著水平。



a, b 表示不同处理间差异达 0.05 显著水平

a, b means significantly different at the 0.05 probability level among different treatments

图 3 京科糯 768 鲜籽粒蔗糖和总糖含量

Fig.3 Sucrose and total sugar contents in fresh kernels of Jingkenuo768

2.4.2 商品品质 京科糯 768 果穗长筒型,穗型端正美观,粒行整齐、籽粒饱满、颜色嫩白。穗长平均 20 cm 以上,穗粗平均 5 cm 以上,达一等商品穗标准。在 3500 株/667 m² 密度下,穗长≥18 cm 的果穗占比达 90% 以上。在 2019-2020 年国家 4 个生态区区域品尝试验中,得分均高于对照品种,其中在东南区品尝试验中,品尝得分 89 分,在 14 个参试品种中居第 1 位。

2.4.3 丰产稳产性 2019-2020 年,京科糯 768 参加国家鲜食玉米东华北、黄淮海、东南、西南 4 个大区的区域试验,产量均超过对照品种(表 2)。其中在东南区,两年平均产量为 860.25 kg/667 m²,较对照品种苏玉糯 5 号显著增产 24.20%;在西南区,两年平均产量为 897.85 kg/667 m²,较对照品种渝糯 7 号增产 7.42%;在东华北区,两年平均产量为 1041.35 kg/667 m²,较对照品种京科糯 569 增产 0.80%;在黄淮海区,两年平均产量为 885.50 kg/667 m²,较对照苏玉糯 2 号增

产 15.06%,表现出良好的丰产稳产性。

表 2 京科糯 768 参加国家鲜食玉米 4 个生态区产量表现
Table 2 Yield of Jingkenuo768 in four ecological regions in national regional test

区域 Regions	年份 Year	平均产量 (kg/667 m ²) Average yield per 667 m ²	对照产量 (kg/667 m ²) Average yield of CK per 667 m ²	比对照±% Compare to CK±
东华北 Northeast	2019	1025.10	1027.10	-0.19
	2020	1057.60	1039.00	1.79
region	2019-2020	1041.35	1033.05	0.80
黄淮海 Huanghuaihai	2019	882.00	753.80	17.01
	2020	889.00	786.00	13.10
region	2019-2020	885.50	769.90	15.06
东南 Southeast	2019	864.80	695.10	24.41
	2020	855.70	690.20	23.98
region	2019-2020	860.25	692.65	24.20
西南 Southwest	2019	898.40	859.00	4.59
	2020	897.30	813.90	10.25
region	2019-2020	897.85	836.45	7.42

数据来源于国家鲜食玉米区试报告。东华北区、黄淮海区、东南区、西南区对照品种分别为京科糯 569、苏玉糯 2 号、苏玉糯 5 号、渝糯 7 号

The data comes from the national regional test report of fresh corn. Control varieties of Northeast、Huanghuaihai、Southeast、Southwest region are Jingkenuo569, Suyunuo No.2, Suyunuo No.5, Yunuo No.7, respectively

2.4.4 抗性与适应性 连续多年试验示范和生产实践结果表明,京科糯 768 具有耐热性好、抗性强、植株及果穗保绿度好等优点。经中国农业科学院、吉林省农业科学院接种鉴定,京科糯 768 抗小斑病、纹枯病、瘤黑粉病等鲜食玉米主要田间病害。通过我国四大生态区国审,可在北至黑龙江、南至海南等主产区广泛种植,表现出良好广适性。2020 年,海南省东方市示范种植京科糯 768,11 月下旬开始分批播种,次年 2 月初陆续采收,鲜穗产量高达 1400 kg/667 m² 以上,表现出熟期早、产量高、抗性强、品质好的突出优势,市场价格达到 4.2 元/kg,产值 5800 元/667 m²,较种植其他鲜食玉米品种亩增收 2000 元以上,增幅达 50%。

3 讨论与展望

3.1 “甜味糯”型玉米的选育策略

优质、特色是鲜食玉米育种工作重要育种目标,优质特色化品种可引领并推动产业升级和发展。本研究提出“甜味糯”鲜食玉米新类型,育成“甜味糯”型品种京科糯 768 并通过国家审定。籽粒

糖度较普通糯玉米提高,品质优、口感好,特色显著,适宜鲜食及加工,解决了甜加糯型玉米不适宜冷冻加工的产业问题。京科糯768的育成得益于明确的育种目标、合理的选系材料构建以及关键育种技术。京科糯768围绕着提高糯玉米籽粒甜度和高产优质广适多用途等多优性状聚合的育种目标,精心选择基础选系材料,采用了优良硬粒型糯玉米中糯2号、甜糯双隐性玉米自交系及我国主导糯玉米品种京科糯2000,实现了甜度、优质、高产、广适等优良基因的有效聚合。在育种技术上,严选单株和组合的优良农艺性状及籽粒含糖量,淘汰率在90%以上;选系测配同时进行,在创制出优良自交系的同时,筛选出具有最高特殊配合力的优良组合,加速育种进程。京科糯768的育成及应用为我国鲜食糯玉米育种开创了一个新方向,其杂交种及亲本也为“甜味糯”新型鲜食玉米的选育奠定了种质基础,其选育方法及思路也将为后续该类型种质创新及品种选育提供借鉴。

3.2 “甜味糯”型玉米遗传机制

糯玉米是一类胚乳突变体,其胚乳中控制束缚态淀粉粒合成酶(GBSS, Granule-bound starch synthase)的基因 *Wx1* 发生隐性突变,导致籽粒胚乳中形成的淀粉几乎100%为支链淀粉,因而具有粘性。与普通玉米相比,糯玉米胚乳中淀粉类型发生变化,但总的淀粉含量无明显变化,因此,纯糯玉米口感上并没有明显甜味,关于糯玉米籽粒含糖量的报道也较少。官捷等^[33]利用糯玉米和甜玉米种质杂交,选育出的甜糯双隐性自交系籽粒含糖量较甜玉米提高;郝小琴等^[34]分析了甜糯双隐性基因玉米材料的农艺性状和可溶性糖含量,发现大部分双隐性材料在授粉后15~30 d可溶性总糖含量高于对应的甜玉米亲本。表明糯玉米与甜玉米杂交后,可选育出含糖量更高的甜糯双隐材料。本研究利用糯玉米与甜糯双隐性玉米自交系杂交,分离后代的糯玉米中也出现籽粒含糖量高的材料,推测认为玉米籽粒含糖量为数量性状,由多个微效基因控制,经与含糖量高的甜糯双隐性玉米自交系杂交后,向糯玉米中导入了除甜质基因 *sh2* 之外的其他微效基因,或甜糯基因互作,使得籽粒中含糖量提高。以含糖量高的ZN3为亲本之一,与另一亲本CQ56组配后,杂交种除表现出较高的特殊配合力之外,籽粒甜度较普通糯玉米品种也显著提升。下一步可继续研究若以含糖量均较高的两个亲本进行组配,杂交种的含糖量、口感品质等会如何表现。

3.3 “甜味糯”型玉米是未来鲜食糯玉米一个重要发展方向

“甜味糯”型玉米品质优、口感好,并且在选育过程、亲本繁育及杂交种子生产等方面均有优势,将成为未来鲜食玉米一个重要发展方向。下一步可继续创制含糖量进一步提高的糯玉米类型。随着市场和消费需求多元化发展,鲜食玉米育种目标也应与时俱进,“甜味糯”玉米种质可进一步引入叶酸、花青素、优质蛋白等优良性状,选育更具特色化和专用化品种。

参考文献

- [1] 徐丽, 赵久然, 卢柏山, 史亚兴, 樊艳丽. 我国鲜食玉米种业现状及发展趋势. 中国种业, 2020(10): 14-18
Xu L, Zhao J R, Lu B S, Shi Y X, Fan Y L. Current situation and development trend of fresh corn seed industry in China. China Seed Industry, 2020(10): 14-18
- [2] 李坤, 黄长玲. 我国甜玉米产业发展现状、问题与对策. 中国糖料, 2021, 43(1): 67-71
Li K, Huang C L. Current production status, problem and countermeasure on sweet corn industry in China. Sugar Crops of China, 2021, 43(1): 67-71
- [3] 董宗宗, 乔勇进, 刘晨霞, 张怡, 王晓, 陈冰洁. 不同采收期对鲜食糯玉米品质影响的研究. 上海农业学报, 2020, 36(4): 19-24
Dong Z Z, Qiao Y J, Liu C X, Zhang Y, Wang X, Chen B J. Study on the influence of different harvesting times on the quality of fresh waxy corn. Acta Agriculturae Shanghai, 2020, 36(4): 19-24
- [4] 史亚兴, 徐丽, 赵久然, 卢柏山, 樊艳丽. 中国糯玉米产业优势及在“一带一路”发展中的机遇. 作物杂志, 2019(2): 15-19
Shi Y X, Xu L, Zhao J R, Lu B S, Fan Y L. Waxy maize industry advantages in China and opportunities in the development of the Belt and Road. Crops, 2019(2): 15-19
- [5] 蒙云飞, 冯云敢, 贺囡囡, 韦桂旺, 韦爱娟, 卢生乔. 甜玉米的起源和分布及遗传基因研究进展. 现代农业科技, 2017(5): 4-5
Meng Y F, Feng Y G, He N N, Wei G W, Wei A J, Lu S Q. Research progress on origin distribution and genetic genes of sweet corn. Modern Agricultural Science and Technology, 2017(5): 4-5
- [6] 郑洪建, 顾卫红, 陈龙英, 王宏争. 甜玉米遗传育种研究进展及综合利用. 上海农业学报, 2002, 18(2): 28-31
Zheng H J, Gu W H, Chen L Y, Wang H Z. General situation about the research advance on genetic breeding of sweet maize and its exploitation. Acta Agriculturae Shanghai, 2002, 18(2): 28-31
- [7] 胡建广, 王子明, 李余良, 刘建华. 我国甜玉米育种研究概况与发展方向. 玉米科学, 2004, 12(1): 12-15

- Hu J G, Wang Z M, Li Y L, Liu J H. General situation and development direction of sweet corn breeding in China. *Journal of Maize Sciences*, 2004, 12(1): 12-15
- [8] William F T, Sherry R W, Edward S B. Recurrent mutation and genome evolution: Example of Sugary1 and the origin of sweet maize. *Plant Genome*, 2006(1): 49-54
- [9] 杨泉女, 王蕴波. 甜玉米胚乳突变基因的研究进展及其在育种中应用的策略. *分子植物育种*, 2005, 3(6): 877-882
Yang Q N, Wang Y B. Research progress and breeding strategy of endosperm mutant genes of sweet corn. *Molecular Plant Breeding*, 2005, 3(6): 877-882
- [10] William F T, Stacie L S, Hallie D S. *Plant breeding reviews*. First edition. USA: John Wiley & Sons, 2019: 215-241
- [11] Xia Z, Karl J H, Vai S L, Candice N H, Brian D V, Heidi F K, William F T, Shawn M K. Maize sugary enhancer1 (se1) is a gene affecting endosperm starch metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019, 116(41): 20776-20785
- [12] Ying H, Vincent C, Bárbara S F, Kristen A L, Adalena N, Christina F, Bo W, Matheus B, Carter J N, Emily M J, Lillian H, Juan M G, Esteban F R, Curtis L H, Kelly S, Michael A G, Tracie A H, Alan M M, Mark A S, William F T, Marcio F R. Genome assembly and population genomic analysis provide insights into the evolution of modern sweet corn. *Nature Communications*, 2021, 12(1): 1227
- [13] Ming G, Jennifer W, Philip S S, Martha G J, Alan M M. Characterization of dull1, a maize gene coding for a novel starch synthase. *The Plant Cell*, 1998(10): 399-412
- [14] 黄玉碧, 荣廷昭. 我国糯玉米种质资源的遗传多样性和起源进化. *作物杂志*, 1998(增刊): 77-80
Huang Y B, Rong T Z. Genetic diversity and origin evolution of waxy maize germplasm resources in China. *Crops*, 1998(S): 77-80
- [15] 曾三省. 优质鲜食玉米—中糯1号. *长江蔬菜*, 1996(4): 21
Zeng S S. A excellent fresh corn variety-Zhongnuo1. *Journal of Changjiang Vegetables*, 1996(4): 21
- [16] 张亚田, 刘晓广, 刘清海. 优质高效糯玉米垦粘1号、垦粘2号及其开发利用. *玉米科学*, 2002, 10(2): 47-48
Zhang Y T, Liu X G, Liu Q H. High-quality and high-efficiency waxy corns Kennian1 and Kennian2 and their development and utilization. *Journal of Maize Sciences*, 2002, 10(2): 47-48
- [17] 黄小兰, 薛林, 石明亮, 陈国清, 陆虎华, 孙权星, 彭长俊, 陈小晖, 陆冬梅. 苏玉糯1号及其亲本的种质创新利用进展. *热带农业科学*, 2012, 32(6): 42-48
Huang X L, Xue L, Shi M L, Chen G Q, Lu H H, Sun Q X, Peng C J, Chen X H, Lu D M. Innovation and utilization of maize-Suyunuo 1 and its parents germplasm. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2012, 32(6): 42-48
- [18] 赵久然, 卢柏山, 史亚兴, 王惠星, 王玉良. 玉米新品种京科糯2000的选育及配套技术. *作物杂志*, 2005(6): 50-51
Zhao J R, Lu B S, Shi Y X, Wang H X, Wang Y L. Breeding and supporting technology of new corn variety Jingkenuo 2000. *Crops*, 2005(6): 50-51
- [19] Luo M J, Shi Y X, Yang Y, Zhao Y X, Zhang Y X, Shi Y M, Kong M S, Li C H, Feng Z, Fan Y L, Xu L, Xi S L, Lu B S, Zhao J R. Sequence polymorphism of the waxy gene in waxy maize accessions and characterization of a new waxy allele. *Scientific Reports*, 2020(10): 15851
- [20] 田孟良, 黄玉碧, 谭功燮, 刘永健, 荣廷昭. 西南糯玉米地方品种 waxy 基因序列多态性分析. *作物学报*, 2008, 34(5): 729-736
Tian M L, Hang Y B, Tan G X, Liu Y J, Rong T Z. Sequence polymorphism of waxy genes in landraces of waxy maize from southwest China. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(5): 729-736
- [21] 徐丽, 樊艳丽, 席胜利, 张翠芬, 张小继, 董会, 史亚兴, 卢柏山. 早熟甜糯玉米新品种‘京科糯2016’. *园艺学报*, 2019, 46(6): 1219-1220
Xu L, Fan Y L, Xi S L, Zhang C F, Zhang X J, Dong H, Shi Y X, Lu B S. A new early-maturing sweet-waxy corn cultivar ‘Jingkenuo2016’. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019, 46(6): 1219-1220
- [22] 郝德荣, 冒宇翔, 陈国清, 陆虎华, 石明亮, 黄小兰, 薛林. 我国鲜食甜糯玉米育种现状与展望. *浙江农业科学*, 2016, 57(4): 478-481
Hao D R, Mao Y X, Chen G Q, Lu H H, Shi M L, Huang X L, Xue L. Current situation and prospects of fresh sweet and waxy maize breeding in China. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2016, 57(4): 478-481
- [23] 李一男. 利用甜糯双隐(三隐)性基因材料选育甜加糯玉米品种. *农业开发与装备*, 2015(8): 26-27
Li Y N. Breeding of sweet and waxy maize varieties using sweet and waxy double recessive (three recessive) genetic materials. *China Seed Industry*, 2015(8): 26-27
- [24] 卢柏山, 史亚兴, 徐丽, 赵久然. 新型甜加糯鲜食玉米品种农科玉368的选育. *种子*, 2016, 35(12): 106-107
Lu B S, Shi Y X, Xu L, Zhao J R. Breeding of new sweet and waxy fresh corn variety Nongkeyu368. *Seed*, 2016, 35(12): 106-107
- [25] 吴子恺. 异隐纯合体杂交法与甜糯玉米育种. *玉米科学*, 2003, 11(3): 13-17, 22
Wu Z K. Crossing of homozygous with different recessive genes and breeding of sweet and waxy maize. *Journal of Maize Sciences*, 2003, 11(3): 13-17, 22
- [26] 卢柏山, 徐丽, 赵久然, 史亚兴, 樊艳丽, 席胜利, 张翠芬, 史亚民, 张小继. 京科糯2000等系列鲜食糯玉米品种选育及应用. *玉米科学*, 2019, 27(5): 1-4, 14
Lu B S, Xu L, Zhao J R, Shi Y X, Fan Y L, Xi S L, Zhang C F, Shi Y M, Zhang X J. Breeding and application of Jingkenuo2000 series of waxy corn varieties. *Journal of Maize Sciences*, 2019, 27(5): 1-4, 14
- [27] 赵久然. 糯玉米种质创新、品种培育及标准DNA指纹库构建. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2021: 5

- Zhao J R. Germplasm innovation, variety breeding and construction of standard DNA fingerprint library of waxy maize. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2021:5
- [28] 赵久然, 王元东, 段民孝, 邢锦丰, 刘新香. 五位一体品种选育方法. 中国, CN201310347163.2, 2013-12-11
Zhao J R, Wang Y D, Duan M X, Xing J F, Liu X X. Five hybrid breeding methods. China, CN201310347163.2, 2013-12-11
- [29] 赵久然. 优良玉米自交系选育新方法. 玉米科学, 2005, 13(2): 31-32
Zhao J R. New method of elite inbred line breeding in corn. Journal of Maize Sciences, 2005, 13(2): 31-32
- [30] 赵久然, 卢柏山, 史亚兴, 徐丽. 一种甜味糯型鲜食玉米品种选育方法. 中国, CN114521487B, 2022-07-29
Zhao J R, Lu B S, Shi Y X, Xu L. Method for breeding fresh-eating waxy corn variety with sweet taste. China, CN114521487B, 2022-07-29
- [31] 肖世远. 间苯二酚光度法测定蔗糖的适宜条件. 四川师范学院学报:自然科学版, 1998, 19(3): 57-59
Xiao S Y. The suitable conditions of measuring cane sugar by using resorcinol-photometric method. Journal of Sichuan Teachers College: Natural Science, 1998, 19(3): 57-59
- [32] 罗春萍, 陆友利, 王星星. 苯酚-硫酸法快速测定多糖方法的优化. 化工管理, 2021(2): 90-92
Luo C P, Lu Y L, Wang X X. Optimization of the rapid determination of polysaccharides by the phenol-sulfuric acid method. Chemical Management, 2021(2): 90-92
- [33] 宫捷, 孙磊磊, 张丽萍, 王青峰, 杨瑞春, 李小琴, 冯发强. 甜糯双隐性基因型玉米种质的创制与评价. 华南农业大学学报, 2019, 40(2): 6-13
Gong J, Sun L L, Zhang L P, Wang Q F, Yang R C, Li X Q, Feng F Q. Creation and evaluation for corn germplasm of double recessive sweet-waxy genotype. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(2): 6-13
- [34] 郝小琴, 吴子恺. 双隐性甜糯玉米的主要农艺及品质性状. 作物学报, 2003, 29(3): 321-329
Hao X Q, Wu Z K. The major agronomic and quality characters in double recessive sweet-waxy maize. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(3): 321-329