文章编号：1005-0906(2004)01-0012-04

我国甜玉米育种研究概况与发展方向

胡建广[1],王子明[2],李余良[1],刘建华[1]

(1.广东省农业科学院作物研究所,广州 510640；2. 广东省农作物杂种优势利用站,广州 510500)

摘 要：我国甜玉米育种虽然起步较晚,但育种水平提高很快,在产量潜力和子粒含糖量等方面已经达到较高水平。由于甜玉米资源相对缺乏、研究力量薄弱和对产量的过分追求,甜玉米的食用品质与国外优良品种差距明显,缺乏耐热、耐寒品种。加强资源引进、创新与人才培养,坚持应用传统育种技术的同时积极吸收现代生物技术的优秀成果,加快品质鉴定技术和相关性状的遗传规律研究,是我国甜玉米育种取得突破的关键。

关键词：甜玉米;品种选育;发展方向

中图分类号：S513.03 文献标识码：A

General Situation and Development Direction of Sweet Corn Breeding in China

HU Jian-guang[1], WANG Zi-ming[2], LI Yu-liang[1], LIU Jian-hua[1]

(1. *Institute of Crop Sciences, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou* 510640, China;
2. *Guangdong Provincial Crops Heterosis Utilization Station, Guangzhou* 510500, China)

Abstract: The sweet corn breeding of China had achieved a great progress in the latest twenty years, and the yield of ears and sugar content of kernels were up to the top level of the world. But in China, the resources were absent of diversity, the research team were not so strong, and paying an attention too much on yield in breeding, so, the taste qualities of our sweet corn varieties, such as crisp and peel residue, were behind more than the best sweet corn varieties of the world, and we were also absent of the varieties which were resistant to the too hot or too cold environment. In future, those are the urgent task for sweet corn breeding that enhancing the resources introduce and innovation, and expert training, integrate using traditional breeding techniques and modern biotechnologies creatively, and quickening the studies on genetic law and identifying techniques of quality characters.

Key words: Sweet corn; Variety breeding; Development direction

甜玉米子粒含有丰富和均衡的营养成分，具有较好的口感，随着人们生活水平的提高及膳食结构的改善，甜玉米已经成为不可或缺的营养和保健食品之一。甜玉米是控制胚乳碳水化合物代谢的纯合隐性基因突变体，已发现的隐性控制基因有 su1、su2、sh1、sh2、bt1、bt2 以及加强基因 se 等。依据不同的遗传背景，目前广泛使用的甜玉米分为普甜玉米(su1)、超甜玉米 (sh2 或 bt1、bt2) 和加强型甜玉米(su1、se)。超甜玉米是我国最受消费者欢迎的甜玉米,其营养丰富,除了具有较高的蔗糖、葡萄糖、麦芽糖、果糖和植物蜜糖外,蛋白质、脂肪、维生素和人体必需的氨基酸均远远高于普通玉米，维生素 V_{B1}、V_{B2}、V_C、V_{PP} 等和微量元素锌、铁、锰等的含量也非常丰富。甜玉米果穗在乳熟期收获,果穗收获后的茎叶仍然新鲜嫩绿,粗蛋白、粗脂肪和维生素等营养物质含量相当丰富,是优质的青贮饲料。甜玉米的有效开发和综合利用，对于提高农业生产的经济效益有重要意义。

收稿日期：2003-07-07

作者简介：胡建广(1963-),男,广东省农科院作物所,博士,主要从事玉米生物技术和杂交育种研究。
Tel:020-85514234 Fax:020-85514269

1 甜玉米相关基因的发现

甜玉米是控制玉米子粒糖分转化的相关基因突变,使得子粒的淀粉合成受阻,从而出现蔗糖和还原糖等在玉米未成熟子粒中大量积累的一类特用玉米。Eest 和 Hayes(1911)首先描述了甜玉米 su1 基因。su1 是胚乳的一个隐性突变基因,它在乳熟期能阻止糖分向淀粉转化,使还原糖、蔗糖含量显著高于

普通玉米，使玉米未成熟子粒中大量累积水溶性多糖(WSP)。Peat 等(1956)研究发现,su1 突变体能产生 WSP,但与其它突变体相比,su1 突变体胚乳可溶性糖分的总量较低（一般为 8% ~ 10%)。Hatchinaon (1921) 首先发现胚乳凹陷的基因突变类型，命名为 sh1 基因突变型。在 sh1 基因突变型的胚乳中,淀粉含量大大减少，在子粒成熟时表现型为一种凹陷胚乳。Laughnan(1953)报道了另一种相似的突变体,受 sh2 基因控制,该突变体淀粉含量进一步降低,种子干重成分的 20%变成了糖分,糖分含量相当于正常玉米的 10 倍。Laughnan 提出了在甜玉米育种中利用 sh2 基因的可能性,并于 1959 年发放了第一个以突变基因 sh2 为背景的超甜杂交种 “伊利诺斯 Xtra”。Camerson 等(1954)发现了两个玉米胚乳突变体新类型,分别命名为脆弱-1(bt1)和脆弱-2(bt2)。该两个基因作用与 sh2 基因相似，也使玉米胚乳的糖分含量大幅度增加。1956 年美国夏威夷大学发现了以 bt1 和 bt2 为遗传基础的超甜玉米品种夏威夷 9 号和 6 号。Camerson 等和 Creech 等 (1954,1956)对 sh 和 bt 胚乳突变体进行分析研究发现,该两类突变体在子粒乳熟期胚乳中可溶性糖分的含量比普通甜玉米高出 1 倍以上(通常为 18% ~ 25%),但它们不能积累水溶性多糖。

Gonzales 等(1973)发现 I11677a 甜玉米自交系具有与 sh2 材料一样高的糖分含量，但 WSP 与 su1 甜玉米相似。Brink 等(1978)和 Ferguson 等(1978)研究表明，这种现象是 se 基因对 su1 上位作用的结果。se 基因可以明显提高 su1 基因突变型玉米的子粒糖分含量,因而被定为 se(sugary enhancer)突变体,se 基因只对 su1 隐性纯合体起作用。se 和 su1 基因独立遗传,在 sesesu1su1 双隐性纯合体中,子粒的可溶性糖和蔗糖、果糖的含量均十分丰富,具有超甜玉米和普甜玉米的双重风味。

2　甜玉米的品种选育

国外对甜玉米的遗传研究及育种工作开展较早,1836 年美国的诺埃斯·达林育成第一个甜玉米品种“达林早熟”。1900 ~ 1907 年美国开始正式设立甜玉米育种项目。随着控制甜玉米形成基因的相继被发现,甜玉米商用杂交种也随之被培育成功。1924 年美国琼斯首先育成世界第一个甜玉米杂交种，1927 年史密斯育成著名单交种 “高登彭顿”(P39×P51)并广泛栽培至今。今天以 su1 基因为基础的甜玉米已有几百个杂交种在世界各地销售。1953 年伊利诺斯州立大学 Dr. Longhman 将 sh2 基因引入普通甜玉米，随后育成 Illini Xtra-sweet 超甜玉米品种；1959 年佛罗里达州育成超甜玉米品种佛罗里达永甜;70 年代以后，夏威夷州育成优良超甜玉米品种 Hawaian;佛罗里达州育成超甜玉米 Jubilee;爱达荷州兄弟 (Brothers) 种子公司育成 GSS 系列、SUCRO 超甜玉米优良品种;90 年代中后期又推出 Dynasty、Magnum(Gs4644)、Krisy King、双色 Cupola 和 Bss-5805 等优良超甜玉米品种。

70 年代以后，泰国超甜玉米育种研究发展很快,具有了一批优异种质资源,并形成了本国特色的超甜玉米系列，例如 Comp.<hash>1 DMR、689 HONEY JEAN NO.2；目前泰国太平洋种子公司又推出超甜玉米 5 号及 ATS 系列优良品种。

台湾凭借与美国的频繁交流和对育种的重视,甜玉米育种成果显著。农友公司推出的“华珍”系列品种,具有耐热性好、品质优和抗性强等特点,在我国的广东省推广面积很大。

我国大陆甜玉米育种起步较晚，普通甜玉米的研究始于 20 世纪 60 年代,1963 年李竞雄、郑长庚两位教授从美国引进一批甜玉米材料，开始进行甜玉米育种的系统研究。1968 年,当时的北京农业大学在国内首次培育出普甜玉米品种 “北京白砂糖”,后因种种原因该项研究中断。70 年代后期,甜玉米育种研究又重新开展,并列入“七五”和“八五”国家科技攻关计划。进入 80 年代,国内甜玉米育种有了长足的进步,相继培育成功一系列普通甜玉米(农梅 1 号:上海农科院;东甜 2 号:东北农学院;金穗 1 号:广东省农科院等)和超甜玉米品种(甜玉 2 号和甜玉 6 号:中国农科院;东农超甜:东北农学院等)。进入 90 年代，甜玉米育种研究在国内遍地开花,广东、上海、湖北和河北等省份相继进行甜玉米育种立项,培育品种的质量有了很大的提高,研究的重点转为超甜玉米和加强甜玉米的育种研究，这一时期育成的甜玉米品种主要有普通甜玉米包括苏甜 8 号、冬甜 3 号和普甜 8701 等;超甜玉米包括超甜 20、超甜 43、甜玉 4 号、粤甜 1 号、穗甜 1 号和农甜 1 号等;加强甜玉米包括中甜 2 号、甜单 8 号、加强甜 16 和京科甜 115 等。

随着我国市场化程度的不断深入和国外优异甜玉米种质资源的大量引进与应用，以及相关专业公司的成立，我国近两年新培育的甜玉米品种的数量和质量有了很大提高,在产量、抗病虫性和子粒含糖量等性状赶上和超过美国优良甜玉米品种水平。我国东部和南部是甜玉米的主要产区，其中广东省种植面积最大,2002 年达到 7.86 万 hm^2，通过审定的

品种最多,已经达到 11 个。目前,参加国家东南区区试的甜玉米品种可以代表国内甜玉米育种研究的最高水平,2001 年参加区试的品种 11 个,产量超过 12 000 kg/hm² 水平有 4 个品种,其中粤甜 3 号的综合表现最优,除食用品质的个别性状外(如子粒种皮厚度和爽脆性等),该品种其他性状已经达到美国同等超甜玉米优良品种水平,并已通过国家品种审定。2002 年参加区试的品种 13 个,2003 年参加区试的品种达到 29 个 (其中广东省参试品种 9 个),在广东省农业科学院作物研究所区试点中,有 20 个品种产量超过 12 000 kg/hm²,其中 17 个品种产量超过 13 500 kg/hm²,多个品种的外观性状(子粒色泽、饱满度和排列整齐程度等)、食用品质(甜度、柔嫩度、皮厚度和风味等)也达到较高水平。

3 我国甜玉米育种面临的挑战

虽然我国甜玉米育种发展迅速,育种水平提高很快,但与美国、泰国、中国台湾省等地相比,整体水平还存在明显差距,主要表现为:

3.1 甜玉米育种资源匮乏和品质不佳

玉米(包括甜玉米)的起源中心在墨西哥、秘鲁和美国南部等南美洲国家,我国育种资源完全依靠从国外引进。目前,我国甜玉米育种资源主要来自美国、少部分来自泰国和我国台湾等地,通过自交选育二环系,与优良的普通玉米资源杂交,再采用回交转育、轮回选择和混合选择等方法,进行甜玉米自交系的创新研究。由于资源之间血缘关系较狭窄,生态类型较单一,缺乏耐热、耐寒、耐瘠薄的甜玉米育种资源。同时,我国开展甜玉米选育种工作的时间较短,投入的研究力量和科研经费严重不足,各单位之间资源缺乏合理的交流,加上我国具有重产量、轻品质的育种取向,选育的自交系数量非常有限,食用品质均不理想。而甜玉米含糖量、爽脆度和子粒皮厚度等性状主要为数量性状,因此现有国产甜玉米杂交种果皮偏厚,吃起来渣多、不柔嫩,口感较差,糖分下降较快,最佳采收期偏短(南方一般只有 5 d 左右)、货架寿命较短(30℃左右时不能隔夜销售)。

3.2 加工专用型超甜玉米品种欠缺

由于我国甜玉米育种起步晚,已育成的品种不多,通过省级以上品种审定的只有 10 多个。在已审定的甜玉米品种中,超甜玉米以鲜穗上市型为主,普甜、加强甜玉米以加工型为主。近年以超甜玉米为原料,加工成粒状罐头、速冻玉米的产业迅速扩大,急需加工型的超甜玉米品种。但是,超甜玉米品种几乎全是鲜穗上市型的品种,符合果皮薄、子粒黄色均匀一致、子粒大小适中、穗轴细、出籽率高、口感爽脆等加工要求的超甜玉米品种极少,限制了我国甜玉米加工业的发展。

3.3 缺乏耐热和耐寒型品种

目前,我国华南地区是超甜玉米的主产区,其中广东省年种植面积超过 7.33 万 hm²。在该地区甜玉米生育期仅 70 ~ 90 d,如果能充分利用光温条件,甜玉米生产可由一年两熟变成一年三熟,既可充分利用土地,提高复种指数,又可延长甜玉米鲜穗供应期,提高农民的经济收入。由于反季节种植的产品价格高,经济效益更加显著。因此,在广东省超甜玉米反季节种植面积迅速扩大。可是,我国大陆现有甜玉米品种以温带血缘为主,严重缺乏耐热和耐寒型品种,绝大多数国内品种只适合华南、华中地区春、秋种植,而在南方高温高湿的夏季与温度变化异常的生态条件下,出现花期不遇和吐丝困难等情况。目前,台湾农友公司“华珍”超甜玉米品种填补了这一季节的空白。

4 我国甜玉米育种发展方向

为提高国产甜玉米品种在国际、国内市场上的竞争力,我们认为应从以下几方面进行突破是非常重要的。

4.1 加强甜玉米资源创新研究

甜玉米是杂种优势利用最成功的作物之一,亲本间遗传互补性越强,杂种优势也就越明显。目前,甜玉米资源的创建多是从引进的甜玉米品种中选二环系或将甜质基因转育到普通玉米骨干系中组配而成,育种工作追求短、平、快,虽然短期内可以育成一些品种,但由于育种材料遗传基础较狭窄,难以育成有重大突破的品种。

资源创新是一项工程浩大的系统工程,吸引或培养一大批训练有素的科学家,形成分工明确的研究梯队,创造性应用现代遗传学和相关学科的基本理论,采用先进性和完整性的技术方法,广泛搜集遗传基础复杂、生态环境不同的甜玉米育种资源,创建基础群体是我国甜玉米育种取得突破的关键。

在大量引进各类种质资源,包括各种抗逆性基因资源的基础上,扩大种质资源研究的规模与深度,加强资源的鉴定和遗传分类新方法研究,发现新的杂种优势群和杂种优势模式,选育出配合力更高的自交系,提高杂种优势水平,只有这样才可以从整体上提高甜玉米育种的工作效率。

4.2 生物技术与常规育种方法紧密结合

在 20 世纪,遗传学对农业生产的最大贡献就是

杂种优势的理论与技术。今后,有关的理论和技术将会继续发展,并对农业生产继续产生影响。但 21 世纪生物技术的应用将会对甜玉米育种研究有突破性贡献。

4.2.1　利用转基因技术,实现特定性状的定向改良

转基因技术突破了种间的天然隔离,可以利用其他生物来源基因,包括动物、植物、微生物以及人工合成等,通过基因转化,为培育产量更高、品质更好、高抗病虫害、适应不良环境条件的甜玉米品种创造了条件。目前,利用转基因技术培育抗虫超甜玉米品种在美国已经成功,国内有多家科研单位开展了同类研究,近 2 ~ 3 年,将会有转基因甜玉米品种问世。

4.2.2　与常规方法相结合,提高育种效率

育种程序中的关键环节是准确地鉴别合乎需要的基因型,这是育种研究成败的关键。育种技术的不断进步,测试手段的不断完善,都是为了更准确地鉴定表现型而推测其基因型。传统测定方法易受环境影响,费用昂贵,效率很低。例如,耐旱性、耐寒性和抗虫性鉴定技术难度大,费用高而且不够准确。如果在上述抗逆性育种过程中把分子技术与常规方法结合起来,就可以准确地鉴定基因型,省钱、省工、省时、准确、可靠,因而效率高。进行多抗性育种时,传统的田间选择方法是一次对应一种病害,现在利用分子生物技术辅助育种,可以先用常规方法把多个抗性基因组装在一起,然后利用分子标记技术快速、准确地鉴定出多抗性基因型。在这个过程中不涉及转基因操作,因而是对环境安全的生物技术。可以预料,21 世纪植物育种的第二个突破性方向是应用生物技术与常规方法的紧密结合。

4.3　加强品质性状遗传的研究

甜玉米育种在产量上获得突破比较容易,目前,国内品种的产量已经达到较高的水平,但食用品质的提高还不显著。食用品质的测定还是以品尝为主,客观有效的测定手段缺乏,爽脆度、柔嫩度和皮渣率等品质性状的遗传规律和影响因子研究还比较缺乏,而这些研究成果对于指导甜玉米的资源创新、提高品种的食用品质有重要意义。

4.4　创立名牌甜玉米种子品牌

世界上经营甜玉米种子的知名企业较多,如美国的“先正达公司”、“先锋种子公司”,中国台湾的“农友种子”等。这些国际种子公司已在我国设立办事机构并做了多年的前期推广工作,由于他们有很好的甜玉米育种基础和品种储备,实行种子供应和产品回收等服务措施,这些公司的甜玉米品种已经占据了我国甜玉米种子部分高端市场,而我国目前还没有一个能与之抗衡的甜玉米种子品牌。因此,在加强甜玉米育种工作的基础上,建立集育种、种子生产、经营推广一体化的国产甜玉米种子企业,创立在群众中有较大影响的甜玉米种子品牌,提高民族甜玉米种子产业的竞争力,也是我国甜玉米产业发展的紧迫任务。

参考文献:

[1] 刘纪麟 . 玉米育种学[M] . 北京:农业出版社,1991 .

[2] 张　旭 . 作物生态育种学[M] . 北京:中国农业出版社,1998 .

[3] 王立秋 . su1 型甜玉米杂种优势分析[J] . 玉米科学,1997,5(1):27–29 .

[4] 宋同明 . 发展我国特用型玉米产业的意义、潜力与前景[J] . 玉米科学,1996,4(4):6–11 .

[5] 滕桂荣 . 甜玉米类型及其系列产品加工[J] . 黑龙江农业科学,1996,(3):45 .

[6] 李晓亮,王常芸,王　荣,等 . 特用型玉米的研究进展及综合开发利用[J] . 国外农学–杂粮作物,1998,18(2):15–20 .

[7] 郑洪建,顾卫红,陈龙英,等 . 甜玉米遗传育种研究进展及综合利用[J] . 上海农业学报,2002,18(2):28–31 .

[8] 李小琴,吴景强,叶翠玉,等 . 我国甜玉米育种概况及面临的挑战[J] . 作物杂志,2002,(5):45–46 .

[9] 杨秀海,董云州 . se 突变体的遗传表现及其利用[J] . 玉米科学,1994,2(4):8–11 .

[10] 黄炳生,张志高 . 利用回交转育的方法选育甜玉米杂交种[J] . 中国农学通报,1993,9(1):31–33 .

[11] Cameron J W and Teas H J. Carbohydrate relationships in developing and mature endosperms of brittle and related maize genotypes. Am. J. Bot., 1965, 41: 50–55 .

[12] Ferguson J E, Rhodes A M, Dickson D B. The genetics of sugary enhance (se) an independent modifier of sweet corncsu). J. of Heredity, 1978, 69: 377–380.

[13] Smith A M, Denyer K and Martin C. The synthesis of the starch granule, Annu. Rew. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 1997, 48: 67–87.