

文章编号: 1005-0906(2005)01-0052-03

# 高直链淀粉玉米的选育概况与发展前景

张 瑛,徐晓红,朱玉芹,韩 萍,李时群

(吉林省农业科学院农业经济与信息服务中心,吉林 公主岭 136100)

**摘要:** 简要介绍了高直链淀粉玉米的关键基因 *ae* 的发现过程以及高直链淀粉玉米的选育状况和我国高直链淀粉玉米育种存在的挑战和今后的发展前景。

**关键词:** 高直链淀粉玉米;选育概况;发展前景

中图分类号: S513.03

文献标识码: A

## Breeding Surveying and Development Prospect of High Amylose Maize

ZHANG Ying, XU Xiao-hong, ZHU Yu-qin, HAN Ping, LI Shi-qun

(The Center of Agriculture Economy and Information Service, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100, China)

**Abstract:** Discovering course of the key gene *ae* of high amylose maize was introduced simply, surveying the breeding status of high amylose maize and setting forth existing challenge of high amylose maize breeding and its development prospect for the future in China.

**Key words:** High amylose maize; Breeding surveying; Development prospect

高直链淀粉玉米 (high-amylose maize 或 amylo-maize) 是指玉米淀粉中直链淀粉含量在 55%~85% 的特用型玉米。它是由位于玉米第 5 染色体上的隐性基因 *ae* 控制的。据报道, *ae* 及其修饰基因的共同作用可使玉米子粒中直链淀粉的含量提高 50%~80%。而普通玉米子粒中直链淀粉的含量只有 22%~27%。其化学成分是由一个线性聚合物在  $\alpha$ -D-(1~4) 上形成一个糖苷键, 分子量大小为 5 万~20 万间, 与碘有较高的亲和力。此外, 突变基因 *Sugary-1*、*Sugary-2* 与 *dull* 也能增加直链淀粉的含量。玉米直链淀粉在食品工业、医药、造纸、纺织、化工等领域有着广阔的应用前景。

## 1 影响玉米直链淀粉含量的基因 *ae* 的发现

影响子粒直链淀粉含量的突变基因主要有 *ae*, *du* 和 *su<sub>2</sub>*, 这三种突变基因都增加了直链淀粉的含量, 但以 *ae* 基因最为显著。1952 年 Vineyard 和 Bear 在一个普通玉米中发现了这个可加倍直链淀粉含量

的单隐性基因后, 1958 年由 Kramer 等人建立了以 *ae* 符号作为该基因在第 5 染色体上的永久性符号。纯合隐性基因 *ae* 可以把直链淀粉含量由 25%~28% 提高到 55%~65%, 甚至达到 80%。1960 年 Haunold 和 Lindsey 指出, 高直链淀粉突变体的表现型鉴定是困难的, 但有时一种外观“半透明”的胚乳与高直链淀粉的特性是结合在一起的。1964 年 Crane 曾报道, 比较高的直链淀粉与成熟子粒的轻度凹陷或皱缩是有关的。*ae* 基因虽然可以大幅度地提高直链淀粉的含量, 但它也造成子粒总淀粉含量的下降和含水量的增加。在 *ae* 基因纯合的情况下, 不同自交系对直链淀粉提高幅度存在较大差异, 表明遗传背景与 *ae* 基因之间存在某种互作关系或者不同自交系存在不同数量的直链淀粉含量的修饰基因。1988 年, Stinard 和 Robertson 在突变群体中发现了一个显性直链淀粉扩增者基因 *-Ae5180*, 位于第 5 染色体上, 对 *ae* 是显性, 主要通过母体遗传, 雄配子传递率则很低, 同时存在母本效应。目前该基因在育种上的应用前景还不明朗。1999 年 Fuwa 等研究结果也证明 *ae* 基因的不同等位基因对直链淀粉含量有不同的影响。

*ae* 基因型的效果和贡献在高直链淀粉商业用途方面是最大的。*ae* 基因加上其修饰基因, 可以提

收稿日期: 2005-01-03

作者简介: 张 瑛(1958-), 女, 公主岭市人, 副研究员, 从事科技期刊的编审工作。Tel: 0434-6156680

供 50%~85% 的直链淀粉。高直链淀粉玉米杂交种的平均产量只有普通玉米的 65%~75%。世界上只有美国将含有 *ae* 基因的玉米杂交种商品化,含 *du*, *su*<sub>2</sub> 基因的杂交种也进入了示范阶段。美国 70 年代只有两种类型的高直链淀粉玉米品种,一种含直链淀粉 50%,一种含直链淀粉 70%~80%。80 年代初卡斯汤姆种子子公司采用轮回选择法利用 *ae* 及其修饰基因培育出 5 级(含直链淀粉 55%~60%)、6 级(含直链淀粉 60%~70%)和 7 级(含直链淀粉 70%~80%)高直链淀粉玉米杂交种,有少量的种植(生产)面积。目前已经培育出直链淀粉含量达 100% 的玉米。

## 2 高直链淀粉玉米的品种选育方法

### 2.1 回交转育法

将 *ae* 基因导入到其他优良的自交系中,再通过回交、自交育成高直链淀粉玉米自交系。回交转育时,轮回亲本的遗传背景不但会影响直链淀粉含量,而且也会影响子粒的表现型,*ae* 在某些自交系的遗传背景上,可产生完全饱满的子粒。不同的自交系与 *ae* 基因型(直链淀粉含量为 55%)杂交的  $F_1$ ,直链淀粉含量的变异幅度为 36.5%~64.9%。这增加了回交转育的难度,很难选择合适的轮回亲本。选育高直链淀粉玉米的方法之一是回交和自交交替进行,至少回交三轮,但当高直链淀粉非轮回亲本不利于农艺性状的基因与 *ae* 基因连锁时,必须多回交几轮以打破连锁,针对 *ae* 和不良农艺性状进行选择。另外,轮回亲本还必须具有某些修饰基因。如果在轮回亲本中有修饰基因,那么选择到所需的高直链淀粉基因型就比较容易。如果只有非轮回亲本含有所需要的直链淀粉修饰基因,那么育种群体就存在很大的限制因素。所以说获得所需基因组合必须有大的育种群体。学术界普遍认为这个方法是育成高直链淀粉玉米的比较理想的方法。

### 2.2 轮回选择法

由于商业上对玉米直链淀粉含量的要求不断提高,而经验表明通常的育种方法不能积累很多的修饰基因使得直链淀粉含量超过 70%,于是产生了循环育种系统,即在普通育种法选育自交系之前,将多个修饰基因积累到同一个群体中,进行选择 and 改良。轮回选择法是积累有效基因的好办法。1958 年 Whistler 认为不可能培育出直链淀粉含量超过 80% 的玉米群体。但是,卡斯汤姆种子子公司用轮回选择法积累并选择修饰基因,经过 10 轮的改良,群体的平均直链淀粉含量已经超过 85%。进一步在群体内自交和选择,获得了直链淀粉含量达到 94% 的自交

系。轮回选择法的育种群体大、所需的周期长、分析的样品数目多,因此投入的成本也比较多。

### 2.3 家系选择法

也可以采用家系选择法培育高直链淀粉玉米自交系和杂交种,即从现有的群体和杂交种中选育自交系。主要有  $S_1$  选择法、 $S_2$  选择法和半姊妹家系选择法。这几种方法可以有效地淘汰群体中不良的隐性基因个体,有利于选出农艺性状好的自交早代系,但分析子粒直链淀粉含量时应注意样品的数目大小,数目太大则成本太高,数目太小则难以选择出所需材料。

## 3 我国高直链淀粉玉米育种面临的挑战

### 3.1 高直链淀粉玉米种质资源的匮乏

目前我国没有高直链淀粉玉米品种,也没有高直链淀粉玉米的种植和直链淀粉的生产。在分析鉴定了在国家种质资源库长期保存的玉米种质资源材料后,顾晓红发现:在我国的玉米种质材料中高淀粉资源材料非常稀少,特别是缺少高直链淀粉材料(直链淀粉含量达到 50% 以上)。但我国的一些育种单位已经引进了一些高直链淀粉玉米种质资源,并开展了前期的探索性研究,为我国高直链淀粉玉米育种及产业化开发奠定了一定的基础。

### 3.2 高直链淀粉玉米种质资源的创新

高直链淀粉玉米育种既要考虑普通玉米育种的所有要求,又要考虑直链淀粉的含量。因此,育种过程中首先要创造一个含有直链淀粉基因和多个修饰基因的群体,因为仅仅有 *ae* 基因还不能满足对直链淀粉的高要求,还必须选择有效的修饰基因。而且所有的 *ae* 基因必须完全纯合,才能进一步选择修饰基因。

### 3.3 增加直链淀粉含量与降低农艺性状的矛盾

直链淀粉的合成受复杂的基因环境互作的影响,增加直链淀粉含量,就可能降低产量和其它农艺性状。在高直链淀粉玉米育种中遇到的问题主要有:①淀粉总含量的下降;②水分含量的增加;③产量的下降。目前,高直链淀粉玉米杂交种的产量仅为普通玉米的 65%~75%。*ae* 基因虽然可以显著提高直链淀粉的含量,但是也会引起其它农艺性状的不良表现。2001 年滕文涛等研究发现,在自交系转育成具有 *ae* 基因高直链淀粉玉米过程中,子粒的光泽度和饱满度均发生变化。子粒饱满度下降必然引起千粒重降低,这可能就是造成产量下降的主要原因。因此,选育高直链淀粉玉米时,既要保证 *ae* 基因高效

表达,又要注意千粒重的选择。

### 3.4 选择合适的测定直链淀粉的方法

直链淀粉的含量与许多遗传因素和环境因素有关,甚至在同一个果穗的上中下子粒含量也不同。1966年 Ferguson 等的分析结果表明,果穗的上中下子粒直链淀粉含量分别是 67.4%、69.8%和 71.9%。1976年 Boyer 等报道说直链淀粉与细胞生理成熟程度成正比,即细胞越到成熟期,淀粉粒越大,直链淀粉含量越高;胚乳基部细胞淀粉合成晚,淀粉粒小,直链淀粉就少。玉米子粒淀粉含量也受环境因子和栽培条件影响。Ferguson 和 Zuber 等报道了在 3 年的时间里,种在 8 个州的 6 个玉米自交系其所处环境对直链淀粉含量的影响,这 6 个自交系 1 个为普通马齿玉米、1 个为 du 基因纯合自交系和 4 个 ae 基因纯合自交系。结果发现,不同地点和不同年份之间的直链淀粉含量差异达显著水平,地点的作用要比年份对直链淀粉含量的影响还要大。因此,育种中测定直链淀粉时取样和测定手段也非常重要。

## 4 高直链淀粉玉米的育种和产业化在我国的发展前景

### 4.1 高直链淀粉玉米育种在我国的发展前景

从我国的食物工业、纺织工业、塑料工业等相关产业的发展需求看,开展高直链淀粉玉米育种,发展高直链淀粉玉米生产和加工具有巨大的经济效益和社会效益。高直链淀粉玉米商业生产和利用具有良好的市场潜力,迫切需要选育出优质、高产、多抗的高直链淀粉玉米品种投入生产。我国对高直链淀粉玉米还没有进行完整系统的研究,目前尚未有杂交种育成。高直链淀粉玉米育种还没有列入政府的项目计划,从长远发展看,选育高直链淀粉玉米有一定的意义,应引起有关方面重视。

我国高直链淀粉玉米育种需要从国内外尽可能多地引进高直链淀粉玉米种质资源,进行适应性栽培,组成综合群体;然后用回交的方法将 ae 基因导入不同遗传背景的材料中,研究 ae 基因与其它淀粉突变基因的互作以及不同遗传背景对 ae 基因表达的影响,筛选出使 ae 基因高效表达的遗传材料,提供新的高直链淀粉玉米资源为育种利用;并对群体进行以直链淀粉含量、子粒产量、抗性为主要性状指标的群体改良,再从中选择直链淀粉含量高的、农艺性状好的株系;或者采用回交转育的方法直接将 ae 及其修饰基因导入到当地优良自交系中,直接用于育种研究,从而总结出一套适合我国的高直链淀粉玉米的 ae 基因的利用途径和方法。

### 4.2 高直链淀粉玉米商业化在我国的发展前景

目前,高淀粉玉米深加工和综合开发利用已成为 21 世纪玉米产业的一个重点和发展趋势。直链淀粉是重要的工业原料,用途很广,涉及到 30 多个领域,如食品、医药、纺织、造纸、包装、石油、环保、光纤、高精度印刷线路板、电子芯片等行业。直链淀粉,尤其是经过理化修饰后的直链淀粉功能进一步加强,如将直链淀粉进行溶解,与氢键结合,可形成刚性不透明胶体,这一特性用于糖果业,可以使糖果保持固定的形状和完整的造型;作为增稠剂用于布丁和一些精制食品的制作;在马铃薯酱和苹果酱制作中加入直链淀粉可以改善果酱质地;用直链淀粉包衣处理薯条可减少油炸马铃薯时薯条内层对油分的吸收。由于直链淀粉的抗切力、强度高和良好的抗水性能,还被用于起皱和胶粘剂工业。直链淀粉还可用于多种胶片和各种胶条的制造。用直链淀粉制造的胶片具有突出的透明度、弹性、抗拉强度和抗水性。目前全世界都在呼吁的白色污染即农用地膜、生活垃圾中的塑料污染已经成为世界一大公害,而以直链淀粉为原料制成的光解膜已成为在塑料工业中应用的最新科技成果。美国用直链淀粉制成的一种叫做 ECO-FOAM 的新型包装充填物,类似于聚苯乙烯泡沫塑料,体轻而松软,广泛用于包装工业。由于它的成分 95%是直链淀粉,可在很短时间内分解,是解决目前世界范围内日益严重的白色污染的好办法。塑料工业将成为直链淀粉的重要应用领域。

目前,我国所需的直链淀粉主要依赖进口,而且价格昂贵,是普通淀粉的 16 倍,约 2 000~2 500 美元/t,每年花去大量外汇。随着全球经济一体化,农业生产已经融入新的市场经济,增加效益是农业生产的主要目的,向市场提供高附加值的产品是农业生产的根本出路。因此,抓住这个有利时机,尽快组织力量开展高直链淀粉玉米的研究,坚持走引进、选育、生产、加工和销售相结合的产业化发展道路,对于促进玉米的深加工发展、增加农民收入、提高农业经济效益具有十分深远的意义。

#### 参考文献:

- [1] 史振声,王志斌,李凤海,等.国内外高直链淀粉玉米的研究与利用[J].辽宁农业科学,2002,(1):30-33.
- [2] 陈艳萍,袁建华,颜伟,等.高直链淀粉玉米研究进展[J].南京农专学报,2002,(3):32-40.
- [3] 宋同明.发展我国特用玉米产业的意义、潜力与前景[J].玉米科学,1996,4(4):6-11.
- [4] 庄铁成,王月,李中华.高淀粉玉米的遗传与育种[J].玉米科学,1996,4(4):12-14,36.

(上接第 54 页)

- [5] 李 进,阿不来提,李铭东,等. 工业用高淀粉玉米及其品质改良[J]. 新疆农业科学, 2000, (6): 283-285.
- [6] 安 伟,樊智翔,郭玉宏,等. 高淀粉玉米的品质改良[J]. 山西农业科学, 2002, 30(2): 25-27.
- [7] 黄云霄,段智利,杨荣芬. 特用玉米育种的进展[J]. 种子, 2002, (60): 46-48.
- [8] 孙伯陶. 高淀粉玉米的利用和选育[J]. 北京农业科学, 1995, (5): 28-30.
- [9] 史振声,王志斌,张喜华,等. 特种玉米产业在辽宁省的发展前景

[J]. 国外农学-杂粮作物, 1999, 19(5): 44-48.

- [10] 李晓亮,王常芸. 我国专用玉米的研究利用现状及发展前景[J]. 玉米科学, 2004, 12(4): 106-109.
- [11] Vineyard M L, Bear R P, MacMasters M M, et al. Development of "Amylomaize" -corn hybrids with high amylose starch[J]. Agron, J., 1958, 50: 595.
- [12] Fergasson V L, Helm J L and Zuber M S. Effect of kernel position on amylose starch content; distribution of amylose within corn endosperm (*Zea mays* L.)(J). Crop Sci., 1966, 6: 273.