

文章编号: 1005-0906(2008)06-0001-05

玉米育种面临的机遇和挑战

张世煌¹, 徐伟平², 李明顺¹, 李新海¹, 徐家舜¹

(1. 中国农科院作物科学研究所, 北京 100081; 2. 中华人民共和国农业部, 北京 100000)

摘要: 中国玉米连年丰收, 国内市场供应充足, 但未来玉米需求会继续扩大, 对玉米生产和育种研究提出了新的挑战。回顾历史, 中国玉米品种不断提高产量, 得益于增强了抗逆(病)性。但在 90 年代以后, 玉米育种目标和育种思路受到困扰。育种者要重视提高品种的抗逆性, 通过循环育种和高密度抗逆育种途径培育配合力更高的优良自交系和抗逆性更强的杂交种

关键词: 玉米育种; 机遇; 挑战

中图分类号: S513.03

文献标识码: A

Challenge and Opportunity in Maize Breeding Program

ZHANG Shi-huang¹, XU Wei-ping², LI Ming-shun¹, LI Xin-hai¹, XU Jia-shun¹

(1. Institute of Agro-resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

2. Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, Beijing 100000, China)

Abstract: Domestic demand for maize will increase although the maize supply is plenty enough currently. This is a big challenge to the national maize R & D system, especially for maize breeding programs. Yield gains have been being increased since the introduction and adoption of hybrids, the stress tolerance of modern hybrids has been enhanced during the last 5 decades. Maize breeding efforts were driven by production management of low population density, which caused declines in breeding targets and strategy. Breeding efforts for stress tolerance should be emphasized, and cycling breeding strategy and selection under high population density should be adopted to develop elite inbred and hybrids.

Key words: Maize breeding; Opportunity; Challenge

1 玉米产业概况

1.1 全球玉米供求矛盾加剧

20 世纪末, 玉米工业属性的拓展, 以玉米为原料的燃料乙醇产业发展迅速, 推动全球玉米生产有了很大的发展。1998 年全球玉米产量首次突破 6 亿 t, 成为世界第一大粮食作物, 此后保持年均 2.6% 的增长速度。2007 年全球玉米产量达到 7.89 亿 t 的历史最高水平, 比当年全球小麦产量多出 1.78 亿 t, 稳居世界首位。在玉米工业消费快速增长的带动下,

1998 年以来全球玉米消费保持增长态势, 年均增长 2.93%。近几年增速不断加快, 2007~2008 年度全球玉米消费量达到 7.75 亿 t, 比上年增长 6.4%。

在过去的 10 年里, 全球当年玉米生产不能满足当年消费需求, 只有 2004 年和 2007 年全球玉米供过于求。目前, 全球玉米库存处在较低水平, 库存消费比 15.6%, 低于联合国粮农组织确立的 17% 的全球粮食安全警戒线。美国农业部最新供求预测, 2008~2009 年度, 全球玉米产量 7.896 亿 t, 比上年度增长 0.05%。工业消费继续快速增长, 全球玉米消费将达到 7.997 亿 t, 比上年度增长 3.2%。由于产不足需, 全球玉米供求矛盾加剧。预计 2008~2009 年度, 全球库存下降到 1.124 亿 t, 比上年下降 8.2%, 库存消费比 14%, 下降 1.6 个百分点。

1.2 中国玉米连年丰收, 国内供给宽松

中国是世界玉米主要生产和消费国之一, 玉米产销量占世界玉米总量的 20% 左右, 仅次于美国,

收稿日期: 2008-08-10

作者简介: 张世煌(1948-), 男(满族), 北京市人, 博士, 研究员, 从事玉米育种、种质改良和分子生物学辅助育种研究。

Tel: 010-82108747

E-mail: zhangshh@mail.caas.net.cn

居世界第二位。同样,在我国3大谷物中,玉米产量也位居第二位,而且在谷物中的比重逐年递增。2006年我国玉米产量占谷物总产量的32.9%,比2001年上升4.1个百分点。

玉米生产的发展势头良好,国内供给宽松。预计2007~2008年度,国内玉米总供给量达到1.92亿t,比上年度增长4.3%;国内总需求1.47亿t,增长5.7%。其中,由于畜牧业恢复性增长,饲料消费增速将有所加快,达到9450万t,增长2.7%。工业消费受调控政策影响,增速有所放缓,为3750万t,增长17.2%。预期出口50万t,增长2.2%。期末库存4520万t,比上年度增加478万t。国内玉米供给将继续保持增加。预计2008~2009年度国内玉米供给将继续增加,达到2.02亿t,比上年度增长5.2%;国内消费1.55亿t,增长5.8%,主要是工业消费和饲料消费将继续增加。预计全社会期末库存4750万t,增长4.1%。

1.3 应对玉米产业发展,中国育种面临机遇和挑战

在全球粮食危机、玉米供给趋紧的大背景下,我国玉米供给依然保持宽松。一方面得益于连续4年玉米丰收,国内供给逐年增加;另一方面得益于国家出台的一系列宏观调控措施,减缓玉米工业消费增速,减少玉米出口数量,玉米消费总量增长得到有效控制。但需求的刚性增长和产量波动的加剧,一旦气候等因素造成减产,很可能出现供需缺口。中长期看,国内玉米供求将处于偏紧状态。

根据最新的统计模型预测,2020年国内玉米需求将达到2.14亿t。按照目前的生产技术和投入水平发展,届时国内玉米生产能力只能达到1.63亿t,缺口5100万t。要实现国内玉米基本自给,2020年玉米生产能力需达到2.05亿t,如果玉米种植面积按3000万 hm^2 计算,产量增益要恢复到每年120 kg/hm^2 以上,即2020年全国平均产量要达到6830 kg/hm^2 。在我国历史上全国平均单产最高水平是2006年的5565 kg/hm^2 。在土地资源有限的前提下,应采取积极措施促进玉米产业发展,保证国家粮食安全,这给中国玉米育种和其他技术领域带来前所未有的挑战。

2 中国种子产业的现状

中国种业年贸易额约350亿元,占世界300亿美元的14%。国内生产每年需要90万~100万t玉米种子,实际制种量190万t以上,生产能力严重过剩,产业技术含量低,规模小,无序竞争,呈现多、小、

散、弱、乱的局面。行业平均利润率降低到有史以来的最低点。目前推广面积最大的5个品种依次是郑单958、农大108、鲁单981、四单19、东单60。

中国种业的特点是产业集中程度非常低。农民看重品种而不看重品牌,对品牌的忠诚度很低。经销商的投机心理重,缺乏对农民负责的法制与市场约束,导致种子市场混乱,品种多、杂、乱现象比较突出。优质专用和抗逆品种少,偏向于晚熟,高秆大穗稀植的高风险型品种多,严重制约了玉米的实际产量和产品质量。

国外大型跨国公司进入中国市场,主要有美国杜邦(先锋)、孟山都、瑞士先正达、法国利马格兰、德国KWS等。跨国公司显示了明显的技术优势和综合竞争力。外国公司在油菜、甜菜等小产业已占领大部分市场,但在玉米种业市场占的份额不到2%。长远看,跨国公司对玉米种业的竞争将十分激烈。

3 玉米产业技术体系

玉米产业技术体系的总体目标是提高玉米生产的实际产量和产量增益的速度,推动耕作制度的重大改革。当前具体包括4项核心技术:增加种植密度;东华北春玉米区深松改土(含秸秆还田、增施有机肥等);夏玉米免耕直播和适时晚收;玉米生产全程机械化作业技术。

国家玉米产业技术研发中心的主要任务规划包括上述4项重点任务,还包括形成技术储备的前瞻性研究、产生公共产品、提供社会服务的基础性工作和面对重大自然灾害、生产贸易、食品安全、环境安全等重大事件进行调查研究并提供解决方案意见和建议的应急性工作。

4 玉米生产和研发能力

中国现代玉米育种研究经过三次跨越式发展,取得了一系列重大标志性的科研成果。中单2号、黄417和丹玉13是第一个台阶上的代表性成果,掖单13和农大108属于第二个台阶,郑单958是转向第三个台阶的标志性品种。三个阶段形成了中国玉米育种技术螺旋式上升发展的轨迹。期间,育种家先后选育了一批优良的自交系,代表性的成果有黄早四、丹340、自330、掖478、昌7-2和齐319等。美国发展杂交种以来的科技进步速度表明,现代科学技术的增产贡献率越来越高,例如美国双交种时期的年增益73.4 kg/hm^2 ,单交种时期高达178.7 kg/hm^2 。当产量达到5000 kg/hm^2 以后,玉米生产的实际产量

受外界因素影响而剧烈波动,于是育种家们越来越强调抗逆育种的重要性,使产量增益仍然保持在 95.3 kg/hm^2 的水平。预计在未来的生物技术时代,产量增益不会低于这个水平,甚至可能会进一步提高增益速度。

中国玉米科技进步的速度曾经不比美国差,但由于底子薄、条件差,中国玉米育种和生产与美国之间仍有很大的技术差距。这种差距突出表现在产量达到 5000 kg/hm^2 以后,玉米生产和育种都进入徘徊阶段。1996~2005 年期间的产量增益只有 30 kg/hm^2 。产量增益下降的原因是多方面的,包括政策、市场、品种、土地、耕作、植保、机械和技术推广等多方面因素。从育种技术上分析其中的原因,可以找出进一步提高产量的技术途径与战略方向。

关于产量的 3 个概念:①遗传产量,是科学家在试验田里创造的高产纪录。②边际产量,是品种区域试验的平均产量,是在当前生产条件和技术水平下能够达到的产量上限。这个产量的增益速度受育种者所制定的育种目标、发展思路和采取的技术路线影响,也受相关体制约束。③实际产量,这是每年农业部的生产统计数据。根据这 3 个概念分别计算不同的产量和产量增益。

1980~1995 年期间,遗传产量的增益 227 kg/hm^2 ,而边际产量增益 120 kg/hm^2 ,这个数字低于同期的实际产量增益(127 kg/hm^2)。从 1996~2005 年期间,尽管遗传产量增益高达 860 kg/hm^2 ,但是边际产量增益却下降到 95 kg/hm^2 ,实际产量增益只有 30 kg/hm^2 。这意味着品种选育出了问题,而品种的技术内涵对生产的影响将可能会持续一段时间。

提高产量增益的速度,缩小遗传产量与实际产量的差距,途经只能是通过持续提高品种试验的边际产量来提高玉米生产的实际产量。这就带来了今后要培育什么样的新品种和通过什么技术途径培育创新型杂交种的问题。中国农科院作物科学研究所于 2005 年和 2006 年在新疆和北京做了一项裂区试验设计,比较 1970 年以来各个年代主要玉米杂交种在 3 种密度下的产量增益。结果是在中等密度(45000 株/hm^2)下产量增益速度最快;高密度(60000 株/hm^2)与低密度(30000 株/hm^2)下的增益速度基本一致,即两条回归线平行。1970 年以来的玉米杂交种在高密度下的产量回归线与中密度下的回归线不是在 1970 年交汇,而是在 2000 年交叉,这意味着常规育种技术过早地进入衰退期,或者说初期的育种技术延续的时间过于长久,而后续的技术改进却没有及

时跟进,这是反常的品种特征发展轨迹。

美国先锋公司的首席科学家 Duvick 院士曾经做了大量的试验,研究不同年代玉米杂交种的产量回归。试验表明,1930~1990 年期间,玉米杂交种在 高密度(79500 株/hm^2)下的增益速度最快,在中密度(54000 株/hm^2)和较低密度(30000 株/hm^2)下的增益速度依次减少,而在稀植(10000 株/hm^2)条件下的增益速度最低,70 年间杂交种的产量几乎没有增加。Duvick 的试验证明,不同时期玉米杂交种的产量潜力与种植密度有关,在非逆境下产量和杂种优势几乎没有增加,而在逆境下产量和杂种优势都快速增长。这就回答了什么是产量的问题。产量就是抗逆性。

中国农科院作物科学研究所于 2007 年用中国玉米品种在新疆和北京两种条件下做进一步的密度响应试验。主区设低(15000 株/hm^2)、中(45000 株/hm^2)和高(75000 株/hm^2)3 个密度。高密度处理达到新疆当地玉米生产的种植密度。副区是 50 年代的 4 个农家品种和 1970~2000 年的 26 个骨干单交种。

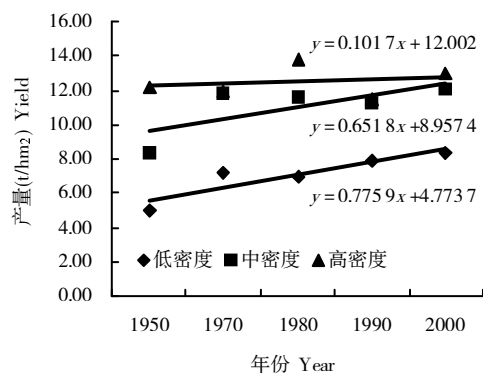


图 1 新疆不同种植密度下杂交种产量均值的比较(2007)

Fig.1 The comparison under different planting density hybrids with the average yield in Xinjiang (2007)

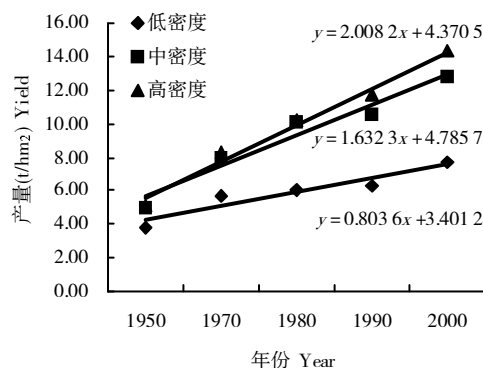


图 2 北京不同种植密度下杂交种产量均值的比较(2007)

Fig.2 The comparison under different planting density hybrids with the average yield in Beijing (2007)

表 1 不同年代玉米品种的产量对 3 种试验密度的响应(2007)

Table 1 The response of different varieties of corn yield on the three tested density

密 度 Density	新 疆 Xinjiang	北 京 Beijing
高	0.101 7x+12.002	2.008 2x+4.370 5
中	0.651 8x+8.957 4	1.632 3x+4.785 7
低	0.775 9x+4.773 7	0.803 6x+3.401 2

注:回归系数单位为 t/hm²。
Note: The unit of regression coefficient: t/ha.

在北京和新疆进行远距离平行试验是为了利用新疆的生态特点,识别和剖析逆境对品种产量潜力的影响,从而揭示遗传学对品种产量潜力的改良。新疆被认为是生物逆境很轻的环境,虽然干旱,但通过灌溉能够有效地予以控制,而新疆的生态环境对发挥品种的产量潜力有利;北京则属于逆境。通过这个试验可以在新疆基本排除生物和非生物逆境对不同年代玉米品种产量潜力的干扰,以判断在北京逆境环境下品种的遗传改良对产量增益的贡献。

通过比较看出,随着密度增加,没有生物逆境干扰,新疆点的产量截距远远高于北京。在北京和新疆两个点,产量增益(*b* 值)随着密度的变化趋势完全相反。在高密度下,北京的 *b* 值高于新疆,这里面包含着抗逆(病)因素。新疆在低密度下 *b* 值较高,而高密度下 *b* 值却特别低。这说明新品种忽略了对抗逆性和产量潜力的实质性的遗传改良,没有主动适应密植生产条件。在低密度(15 000 株 /hm²)下,北京点的产量增益为 80.36 kg/hm²(*Y*=0.803 6*x*+3.401 2),新疆点的产量增益为 77.59 kg/hm²(*Y*=0.775 9*x*+4.773 7)。在低密度下,两个地点的回归截距相近,产量增益速度基本相当。新疆点的 *b* 值近似反映品种自身产量潜力的遗传改良。尽管北京属于生物逆境条件,但相对于新疆,北京点的试验产量增益中只有 3%靠品种的抗逆性改良。在中密度(45 000 株 /hm²)下,北京点的产量增益为 163.23 kg/hm²(*Y*=1.632 3*x*+4.785 7),新疆点的产量增益为 65.18 kg/hm²(*Y*=0.651 8*x*+8.957 4)。尽管新疆的 *b* 值包含了部分密度效应,但北京点试验产量增益的 60%靠品种的抗逆性改良。在高密度(75 000 株 /hm²)下,北京点的产量增益为 200.82 kg/hm²(*Y*=2.008 2*x*+4.370 5),新疆点的产量增益为 10.17 kg/hm²(*Y*=0.101 7*x*+12.00 2)。新疆回归线的截距很高,*b* 值很低,说明即使排除了生物逆境,但在高密

度下不同年代杂交种的产量潜力与 OPV 的差距很小,这意味着缺乏对产量潜力的遗传改良,而北京点产量增益的 95%却是靠品种的抗逆 (病) 性遗传改良。上述这个试验结果部分地验证了戴景瑞院士在 1998 年提出的问题,根据国家区试甘肃点历年的试验产量进行分析,指出 20 多年的玉米杂交种区试产量没有实质性提高,新品种主要是提高了抗病性。

根据这些试验和分析结果可以推测,在北京试验点表现出的高增益,不是由于提高了耐密性,而是提高抗病性带来的高增益。育种家更关注病害问题,却忽视了对非生物逆境的主动研究。今后,这就提出了应如何提高玉米育种的可持续性,应采取什么样的技术路线继续提高未来杂交种的产量和产量增益的问题。

这些试验结果还启示,选育自交系和新品种试验都要注意正确地利用基因型与环境的互作效应,以提高选择效率。进一步的研究可能会揭示出高密度育种的理论基础。

5 育种目标和育种技术

比较中国与美国玉米生产的差距不难看出,中国使用了相当于美国 86%的土地面积和 2.3 倍的化肥,生产了 49%的玉米,产量水平相当于美国的 55%。只有采取有效的技术措施,才能逐渐缩小这种差距。在中国现代玉米育种历程中发生了两个重要的历史教训:一个是理论和技术上缺乏自信心的表现,对于把握大量种质资源和遗传改良的能力缺乏信心和能力;另一个忽视了数量遗传学的原理和技术,形成了以经验为主的育种技术特征,导致玉米育种的种质基础薄弱。

我国育种者曾经很强调种质基础,却忽视了育种技术的方向性和能动性。不能没有种质改良和种质创新,但也不能忽视育种技术。要尽快地使玉米育种完成从经验到科学的跨越,这取决于对数量遗传学知识的把握。

以往在育种目标和育种技术方面大概有 3 个理论误区:①什么是产量;②产量与杂种优势的关系;③如何通过自交系提高杂交种的产量,即一般配合力(GCA)与特殊配合力(SCA)对杂交种产量的相对贡献。这些理论问题决定了育种目标、技术路线和基本策略。

产量不是空洞抽象的概念,也不仅仅是试验田里玉米果穗的重量,而是如何排除或抗衡生产上限制产量增益和产量稳定性的那些障碍因素。因此,产

量就是抗逆性,首先是耐密植抗倒伏的能力,其次是产量继续增长与提高杂种优势的关系。首先,玉米产量的进一步增长不取决于杂种优势的增长,而取决于非杂种优势的遗传原因,特别是对生物和非生物逆境的抗性或耐性。但在逆境下,玉米品种的产量增益与杂种优势相关。这就提示我们,如果在试验田里把育种的注意力放在提高新组合的杂种优势上,可能会在农业生产上降低投入产出效率,使提高产量变得非常困难或者代价过高。

提高杂交种产量的主要途径是不断地提高自交系的 GCA,而不是靠提高两亲本之间的 SCA。先锋公司的 Duvick 研究表明,杂交种产量的增长与亲本自交系的 GCA 平行。Hallauer 指出,80 年代前,SCA 对杂交种产量的贡献大约在 70%,而到了 1980 年,SCA 对杂交种产量的贡献上升到 80%,SCA 只占 20%。这个原理决定了玉米育种的效率和技术路线。

根据上面叙述的这些原理,玉米育种要“以本土化的杂种优势模式为核心,向两边推开,循环育种和高密度育种”的基本策略。这是一个相对概念,是育种实践问题。玉米种质资源可以划分成两个杂种优势列(alignment),概括为 A × B, Hallauer 则具体概括为 Reid-Tuxpeno × 非 Reid- 非 Tuxpeno。这是对美国沿用了半个多世纪的杂种优势模式 SS (Reid) × NSS(非 Reid)的扩展和延伸。这是一对经典的杂种优势群(group)。每一个群内可以包括若干亚群(cluster)和不断加入新种质(race)。应以美国的杂种优势模式为基础,建立本土化的杂种优势模式。这有利于种质扩增、改良与创新。

根据杂种优势模式,把国内外的种质都“向两边推开”,有效地保持甚至逐渐提高两群之间的 SCA 效应,有利于强化对种质资源的管理,因而提高了育种效率。这在本质上是逐渐扩大两个群之间的遗传距离或等位基因的频率差。这个过程的实质是保持和利用非加性遗传方差。

“循环育种”是一个累加过程,即充分利用加性遗传方差,不断地提高新自交系的 GCA 效应,这是玉米杂交种持续增产的基本原因。在循环育种过程里,还要施以高密度等逆境选择压力,这是抗逆育种的第一个突破口,对自交系和杂交种选育具有引导作用,它直接指向高产和稳产的育种目标。

6 玉米品种的性状分析和育种目标

在过去的 40 年里,中国玉米杂交种的穗长、行粒数、千粒重没有明显变化,但是果穗直径和穗行数却明显增加,特别是 90 年代以后,增加很明显。单位面积的收获穗数增长极为缓慢($y=0.166\ 2x+4.647\ 6$),即每年每公顷增加 165 个果穗。出籽率严重下降,特别是 90 年代大量使用美国 PB 种质以后,杂交种的出籽率急剧下降。同时期的株高、穗位高、生育期和秃尖长度急剧增加。这是忽视抗逆性的直接后果,反映出对育种目标和增产途径的理解。在育种目标和技术路线不确定的局面下,育种技术体系中每增加一个不确定因素,随机性就增加 1 倍,导致育种的难度大。从生产上来说,可持续性地提高产量将变得越来越困难,以至浪费大量资源,也难以全面提高玉米生产的实际产量。原因就在于过于强调在低密度下提高品种的产量和杂种优势,却忽视了在高密度和其他逆境条件下提高经济产量。

7 改造育种技术

玉米育种技术体系中需要改造的环节有很多,涉及到一系列理论和技术领域。以往虽然忽视了对抗逆性的改良,选育出大量杂交种,但其中那些优良的或比较优良的品种,基本上是靠提高抗逆性尤其是抗病性而提高了在逆境下的产量增益。今后进一步提高产量和产量增益,要主动地采取抗逆育种技术措施,而不应把注意力放在杂种优势上,尤其不要在低密度等非逆境条件下研究产量和杂种优势。针对以往的经验教训,提出玉米育种的基本策略,概括成 5 句话:①以现有种质为基础。②以本土化的杂种优势模式为核心。③向两边推开。其作用是控制 SCA,利用非加性遗传方差,提高育种效率。④循环育种。这是充分利用加性遗传方差提高 GCA 的有效途径。对种质资源要做到喜新不厌旧。这是可持续地提高产量潜力和产量稳定性的技术基础。⑤高密度筛选是抗逆育种的第一个突破口,它的原理是利用 G × E 效应,扩大育种群体(选系和筛选杂交组合)的分离谱,即通过增加遗传方差(σ^2_g)和选择强度(i)而提高育种效率。

参考文献:略

(责任编辑:李万良)