

我国高油玉米育种的发展策略

陈绍江

(中国农业大学国家玉米改良中心 北京 100094)

〔摘要〕 本文介绍了高油玉米育种的发展状况和存在的问题,提出了今后高油玉米育种发展的设想。特别指出:种质作为国家粮食安全以及玉米育种和生产的战略资源,国家要制定长期稳定的种质发展政策且进行持续的战略投资,形成包括普通种质在内的种质创新体系,从而促进原创性资源和技术的发展;这也是保持我国高油玉米国际先进水平的关键。

〔关键词〕 高油玉米 策略 授粉者 种质改良 伴侣型杂交种 [中图分类号] S5

高油玉米是高技术培育的一种新的优质玉米类型,是我国唯一处于国际领先地位的玉米研究领域。与普通玉米相比,高油玉米具有高油高能、营养全面等特点,是畜牧养殖、油脂加工等行业的优质原料。高油玉米在近几年得到快速发展,目前全球年种植面积达到1 000万亩以上,已成为种植规模扩展最快的优质玉米类型,HO(High oil com)也因此成为国际玉米贸易的一个重要品牌。

高油玉米育种是其大规模种植和实现产业化的基础,我国在此领域已处于国际先进水平,并在近两年实现了对美国的技术输出,成为继杂交水稻后我国作物育种研究领域的新亮点。但同时应当看到,我国在研发投入、种植规模和产业化速度方面还落后于美国。因此有必要进一步加强高油玉米研究,尽快解决高油玉米育种中的突出问题,发展适于我国规模化种植和产业化利用的品种和技术,这对保持我国高油玉米研究的先进地位,推进高油玉米在国内的产业化,保障国家粮食安全和提高我国加入WTO后商品玉米的国际竞争力,都具有非常重要的意义。

一、高油玉米育种发展现状

1. 高油玉米种质改良

种质的创造对高油玉米育种的发展至关重要。目前国内外从事高油玉米种质改良的国家有美国、中国、南斯拉夫、泰国等,其中我国和美国的规模最大、水平最高。

美国从19世纪末开始进行高油玉米研究,到20世纪80年代,已成功开发出含油量超过15%的高油群体IHO、Alexho(ASK)等,并于90年代进入商业化育种过程,继而推动了全球高油玉米的产业化发展。中国农业大学是我国起步较早也是卓有成效的高油玉米研究机构。宋同明教授从上世纪80年代开始就一直致力于高油玉米群体的改良工作,经近20年的努力,成功地培育了多个高油玉米群体,

其中BHO、KYHO等群体的含油率已达到高油玉米育种的要求(见表1),具有自主知识产权。这些种质的育成对国际高油玉米的发展产生了重要影响,直接推动了我国种业与孟山都、杜邦等跨国公司的合作和技术输出,我国也因此成为当今世界高油玉米种质的主要发展中心之一。

表1 中美高油玉米种质资源比较

高油群体	中国		美国	
	选择周期	含油量	选择周期	含油量
IHO	80	19.00	90	20.40
ASK	27	20.20	27	20.20
Syn. Do	10	15.01	4	7.60
RYD	12	13.76	5	7.20
AIHO	12	20.43	—	—
BHO	17	15.72	—	—
KYHO	9	13.22	—	—

2 高油玉米杂交种选育

与普通玉米育种一样,高油玉米育种的核心仍然是杂种优势利用。普通系×高油系所组配的单交种是杂种优势利用的主要形式。在上世纪90年代以前,高油玉米杂交种的选育工作进展不大。在90年代初杜邦公司购买了高油玉米技术的世界专利之后,相继与先锋、Holden基础种子公司合作,形成了高油玉米育种、种子生产以及高油玉米生产和销售产业化体系,使高油玉米推广面积迅速扩大。目前推广的高油杂交种含油量一般在6%左右。

我国高油玉米杂交种选育工作进展较快,目前处于世界先进水平,除已经审定推广的高油115、高油601、高油647、高油6号、吉油1号等杂交种外,最近又有高油116、高油4515、青油1号等近10个杂交种进入了区试阶段。为保证高油玉米育种工作的进一步开展,国家玉米改良中心还强化了从新选群体的自交系选育工作,一批高配、抗病、农艺性状优良的系统将很快投入应用,相信不久会有更好的杂交种问世。

3 普通玉米高油化技术

普通玉米高油化是高油玉米育种发展的又一重要方向。其理论基础是当代杂种优势和油份的花

粉直感效应。大量研究表明杂交种单独种植时,由于籽粒是自交产物,存在着一定的自交衰退现象。而授以其它杂交种特别是亲缘关系较远的杂交种花粉,籽粒的重量有所增加。Seka 和 Cross (1995) 发现,在相同母本遗传背景下,授大粒材料花粉的种子比小粒材料花粉的种子生长快 5.2%、粒重增加 3.9%、产量提高 6%; Bulant 和 Gallais (1998) 通过同一果穗上自交和杂交籽粒比较,证实当代籽粒粒重可增加 10% 以上; Tsai (1991) 观察到单交种 P3832 授以 B73×Mo17 花粉的种子不仅粒重增加,而且蛋白质含量也有所提高。

油份的花粉直感现象也有不少研究。Lambert (1998) 证明以高油玉米作授粉者,杂交当代含油量提高 72%,而普通玉米的籽粒产量未受影响。宋同明等根据高油和低油玉米自交系和杂交种的一系列正反交试验,估计出花粉直感效应值为 0.35%。这样明显的花粉直感现象为在杂交当代利用高油玉米种质提供了十分有利的条件。宋同明据此于 1998 年提出了在杂交当代利用 3 个遗传效应(玉米籽粒重量和品质的花粉直感效应并结合胞质雄性不育的增产效应)的普通玉米高油化技术即“三利用技术”,最近还获得了国家相关技术发明专利,并正与国外公司合作申请北美和欧盟等地的专利。这是一项革命性的杂种优势利用新技术,它将可能改变玉米生产的方式。利用这一技术只要将不育化普通玉米和适当的高油玉米授粉者混合种植,就可以在杂交当代获得高油的商品玉米,从而迅速实现普通玉米的高油化(见表 2)。

表 2 中美高油玉米种质利用状况比较

项目	中国		美国	
	杂交种	普通玉米高油化	杂交种	普通玉米高油化
含油量(%)	> 8	> 5	6~7	5~7
高油种质	ASK/AIHO	ASK/AIHO	IHO/ASK	IHO/ASK
授粉者类型	——	杂交种	——	高油群体

二、高油玉米发展中存在的问题

1. 高油玉米种质匮乏

高油玉米种质的匮乏是影响高油玉米育种发展的瓶颈,目前可利用于育种的群体只有 4 个,其中 IHO 因农艺性较差,难以直接利用,真正可直接用于育种的只有 BHO、ASK、RYD 等 3 个。这些群体虽然在农艺性状等方面表现较好,但相对于普通玉米丰富多样的种质来源而言,凸显遗传基础狭窄。造成这一现象的原因是多方面的,从技术方面来讲,主要是油份受微效多基因控制,选择速度太慢。如 IHO 采用混合轮回选择法对油份进行选择,含油量的每轮进展只有 0.19%,经 90 代选择才使含油量从原来的 4% 左右提高到 20%; ASK 群体采用了十分先进的核磁共振 (NMR) 单粒油份表型轮回选择方法,

使选择速度大大提高,每轮也只增加 0.4%; ASK 群体含油量达到 20% 也用了 27 代, BHO 群体选择采用了改良的 NMR 单粒选择法,每轮含油量提高 0.6%,目前已进行 17 轮,含油量仍没有达到 20%。从政策上来看,国家对短期难以见效的长期种质创新项目尚无稳定支持,使更大规模和更长期的研发活动难以进行。

2. 杂交种数量较少

高油玉米杂交种是我国高油玉米生产的主体。由于高油玉米种质的限制,目前杂交种的数量很少。现在可推广的高油杂交种只有 10 余个,在与众多的普通玉米杂交种竞争中处于劣势。我国玉米的生产方式和生态条件多种多样,对杂交种的数量有较高要求,少数杂交种难以满足生产需要。同时,由于国内的加工水平、产业化环境等仍有不足,优质不能优价,高油玉米的附加值不能充分实现,高油玉米与普通玉米价格比较优势不大,因此推广生产对高油玉米杂交种产量的要求很高。正在推广的杂交种如高油 115、647 等在产量等方面已可与普通玉米持平,但总体来说,高油杂交种的产量性状(如粒重)和农艺性状(如耐密性)仍需进一步改进,选出更多更高产的高油玉米杂交种势在必行。

3. 普通玉米高油化效率较低

普通玉米高油化作为商品玉米迅速优质化的一个重要途径具有广阔的发展前景。目前发展中的主要问题是高油玉米授粉者效率低、数量少。美国大面积应用的授粉者为高油群体,种植比例为 10% 左右,但由于高油群体在农艺性状和产量性状等方面存在许多问题,致使种植过程中存在一定风险。我国推广的授粉者为高油杂交种,产量较高,可以按 30% 左右与普通玉米混合种植,没有生产风险,但由于含油量一般在 8% 左右,所生产的高油化普通玉米含油量只有 6% 左右,因此现在的授粉者效率仍需要提高。同时,由于生产上主推的普通玉米杂交种很多,靠现有少数高油授粉者很难满足不同的需要。而且,这些高油授粉者也没有充分利用如粒重等性状的杂交当代优势,属于过渡型或兼用型的授粉者。从长远发展来看,生产中需要的是能够在杂交当代集中多重直感效应的专用授粉者。

4. 对高油玉米的认识有误区

目前对高油玉米的认识存在的误区主要有 3 个。一是认为高油玉米主要是用于生产玉米油,其实这是对高油玉米认识的最大误区。实际上高油玉米不单是可用于玉米油的生产,更主要的是用于养殖。已有充分的试验数据表明高油玉米是高能量、高营养、高附加值的优质饲料源,所以,现在大部分的高油玉米均用于饲料生产。二是认为含油量越高越好,这是一个很不全面的认识。不同的用途对含油量的要求有所不同,如在家畜养殖中含油量不宜

太高,含油量太高(如超过12%)反而效果不好;而养牛则需要较高的含油量。三是认为含油量高产量也应该高,这是高油玉米推广中常遇到的认识误区。实际上,由于玉米油份主要存在于胚芽之中,含油量在7%以下时,油份的增长主要是胚中含油量增高所致,而不一定使籽粒重量下降,此时含油量和产量矛盾不大;含油量超过7%则含油量增加主要来自于胚体积的增大和粒重的下降,从而导致产量降低(宋同明,1992),因此在含油率超过7%时高产与高油存在一定的矛盾。四是对高油玉米与普通玉米之间的关系认识不清。高油玉米来自于普通玉米,普通玉米是高油玉米发展的根基,没有高水平的普通玉米也就难以发展高水平的高油玉米,因此应对普通玉米的关键地位有充分认识。

三、高油玉米育种发展的策略

为尽快解决目前高油玉米育种发展中存在的问题,应在种质扩增、杂交种选育、普通玉米高油化和技术创新等方面采取新的策略。

1. 种质扩增和国家的种质策略

培育丰富多样的高油玉米种质,实现种质的扩增和改良是克服种质匮乏、保持我国高油玉米健康发展的必要条件。目前,适于高油玉米育种的种质群体已由原来的4个增加到5个,正在改良的群体还有4个。最近,我们又提出并实施穿梭改良计划,对热带骨干群体进行改良,Suwan 1号已完成第一轮选择。通过“十五”努力,将有更多群体进入育种程序,基本覆盖我国主要杂交优势类群,从而为推进我国玉米育种基础种质的全面高油化和优质化创造了条件。

尽管我们在高油玉米种质创新方面已取得较大进展,但由于种质改良周期很长,靠完全的市场化是难以持久的。美国政府十分重视且长期稳定地支持玉米种质的改良工作,如果没有稳定的财政支持,高油玉米研究能在美国持续1个多世纪而不断是不可想象的。也正因为有此支持,美国才有高水平的玉米育种技术和种子产业,也才有高油玉米今天的发展。因此,我国应将玉米种质当作国家粮食安全以及玉米育种和生产发展的战略资源来看待,国家需要对此制定相应的长期科技支持政策,进行战略性投资,多些“百年”项目,少些急功近利,以便能够不间断地开展研究,发展出原创性的种质资源和技术方法,无偿或部分有偿地向国内有关单位提供核心材料和技术支持,从而摆脱目前玉米育种严重依赖国外种质资源的不利局面,实现从外引到自创的根本性转变。

2. 高油杂交种选育策略

育种目标的选择 高油玉米的育种目标不同

于普通玉米之处在于含油量的确定。在高油玉米育种中,目前要摒弃含油量越高越好的认识,根据市场的需求和对象制定选育目标,使不同含油量品种形成系列化。在产量方面,也可根据含油量的不同提出不同的目标,如可以以临界含油量7%为界制定不同的产量指标:7%以下时,产量的目标要与普通玉米的产量持平;7%~10%时,产量应接近普通玉米,降低幅度不超过10%。就我国目前的市场形势和种植方式来说,培育含油量不一定很高但产量有竞争力的品种,是高油玉米育种的首要目标,这是在生产上实现大面积推广的主要途径。这就要求高油玉米杂种的审定标准要有所改变,即应当以含油量为6%或7%而不是8%为高油玉米的指标。这样才符合自然规律,也更有利于高油玉米的发展。另外,为满足不同生态条件和生产方式的需要,还要考虑高油杂交种的成熟期、耐密性等农艺性状,使早中晚熟、高中低密度的品种系列化。

除此之外,高油玉米的多样化也是其育种发展的重要方向,主要目标是在高油的基础上,进一步聚合其它优质性状,进一步提高其附加值。具体有两个方面。一是基于其油份主要存在于胚中,高油性状实际上为胚的性状这一特点,在高油的基础上,改造胚乳性状,使胚和胚乳双优质,或是与糯、高直链淀粉等胚乳基因结合形成复合特种玉米。二是在高油籽粒优质的基础上,加强对秸秆品质的选择,发展青饲型高油玉米,这可能是高油玉米的一个十分重要的发展方向。目前已有试验证据表明高油玉米籽粒和秸秆对反刍家畜的饲养效果显著(宋同明,1992;Andrae,2001;Chouinard,2001),因此把高油玉米籽粒的优质性与秸秆的优质性结合起来,培育双优质、环保型青贮玉米类型,将为畜牧业发展提供更加优质的饲料。目前我们已培育出高油糯杂交种和青饲型高油玉米,相信今后还会有更大发展。

育种方式的创新 高油玉米的发展,有赖于高水平普通玉米的配合,而普通玉米育种正是我国骨干育种单位的优势。为促进我国高油玉米育种事业的发展,充分利用有限高油玉米种质资源,发挥各单位优势,高油玉米育种需要摆脱过去作坊式育种模式,走联合育种之路,通过全国骨干育种单位和大企业的共同参与,形成高油玉米育种协作网,扩大组配范围、育种规模和产业化能力,从而促进我国高油玉米育种和生产水平的全面提高,增强我国的国际竞争力。同时,也要尽量避免过去协作过程中“协而不作或作而不协”的弊端,按照市场经济和知识产权有关规则的要求,采用合理的机制发挥各单位的优势,保护他们的知识产权和经济利益。基于上述考虑,我们于2002年牵头成立了全国高油玉米协作组,目前已取得初步成效。

3. 普通玉米高油化策略

授粉者选育 普通玉米高油化是普通玉米实现优质化的快捷途径,是高油玉米大面积推广的重要途径之一。以提供花粉为目的的高油授粉者是普通玉米高油化的核心,也是玉米育种的新领域。为培育更加高效的授粉者,需要开展以下方面的工作。一是授粉者的系列化。目前生产上推广的玉米杂交种很多,生育期和栽培方式等均不相同。高油授粉者只有依据普通玉米的特点进行选配,才能实现高油玉米与普通玉米的高效配套。这就需要高油玉米授粉者在生育期等方面形成系列,以便于“三利用技术”的组装。二是高油授粉者的多样化。这主要包括含油量更高的超高油杂交种、三交种或双交种授粉者。高油玉米群体的发展,使我们已具备研制含油量超过 10% 的超高油玉米杂交种及其它各类授粉者的种质基础。超高油杂交种可以使单交种再杂交当代籽粒以获得高于 7% 的含油量,而三交或双交种则可延长散粉时间,避免普通玉米的授粉不足。三是选育专用授粉者,即在高油的基础上,再利用蛋白质、高赖氨酸等品质性状的花粉直感效应和粒重的当代杂种优势效应,使多种优良性状在杂交当代得到聚合,达到营养富集、高能高效。

伴侣型杂交种选育 普通玉米和高油玉米授粉者所构成的杂交种再杂交生产系统可以称为伴侣型生产系统。以上对高油授粉者的选育进行了分析,实际上是要使伴侣型生产系统能够产生最大收益,即是要普通杂交种与高油授粉者能够取得 1+1>2 的效应。已有研究结果表明,杂交种再杂交当代优势的表现是不同的,有的表现增产,有的表现平产甚至减产,也就是说在杂交当代也存在一般配合力和特殊配合力的问题。可见有意识地选育和选择合适的当代配合力高的伴侣杂交种,形成一个好的生产系统,达到稳产、高产、高效,这对“三利用模式”的推广是完全必要的。

4. 技术发展策略

高油玉米作为人工创造的作物新类型,是高新技术应用于玉米研究的成功典型。所以,未来高油玉米育种的发展应与新的生物技术手段结合,创造适合于高油玉米育种特点的新技术,实现技术的创新。从目前高油玉米面临的技术问题来看,油份选择速度慢是限制高油玉米种质发展的关键,因此应集中发展快速增油技术,只有这样,才可能在短期

内使高油玉米种质迅速扩增。目前比较可行的方法主要是 EMS 花粉诱变技术。通过该技术可迅速获得普通玉米的高油突变体,从而有可能使若干骨干普通玉米自交系都可以转换成高油自交系。这将极大地加快高油玉米种质的创新速度,实现高油玉米种质创新的技术突破。除此之外,还要强化分子育种研究,重点发展以分子标记为基础的油份快速选择体系。在转基因方面,也可利用高油玉米胚大的特点,发展在胚中表达量高的转基因玉米生物反应器,或其它优质性状转基因玉米结合,培育营养丰富、高效、环保的超级玉米。

通过以上各种途径,高油玉米育种将建立起以种质扩增、技术创新和规模化育种为基础的高效育种体系,从而推动我国普通玉米在含油量上的高油化和高油玉米在种植规模上的普遍化,继而实现我国玉米生产的全面优质化。

参考文献

- [1] 宋同明. 高油玉米. 北京: 北京农业大学出版社, 1992
- [2] 宋同明. 对中综 2 号玉米综合种含油量 11 个周期轮回选择效果分析. 作物杂志, 1994(6): 8
- [3] 宋同明. 雄花不育、单交种再杂交、花粉直感与高产优质高油玉米生产. 全国作物育种学术讨论会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1998
- [4] 宋同明, 苏胜宝, 陈绍江, 等. 高油玉米前途光明. 玉米科学, 1997(3): 73
- [5] 陈绍江. 高油玉米回顾与展望. 玉米科学, 2001(4): 80-83
- [6] Andrae J G, Duckett S K, Hunt C W et al. Effect of feeding high oil to beef steers on carcass characteristics and meat quality. J. of Dairy Sci. 2001, (79): 582
- [7] Bulant C, Gallais A. Xenia effect in maize with normal endosperm: I. Importance and stability. Crop Sci. 1998, (38): 1517
- [8] Chouinard R Y, Corneau L, Buttlar W R et al. Effect of Dietary lipid source on conjugated linoleic acid concentrations in milk fat. J. of Dairy Sci. 2001(84): 680
- [9] Seka D and Cross H Z. Xenia and maternal effects on maize agronomic traits at three plant densities. Crop Sci. 1995, (35): 86
- [10] Tsai C L, Huber D M, Warren H L and Tsai C Y. Effects of cross-pollination on dry matter accumulation, nutrient partitioning and grain yield of maize hybrids grown under different levels of N fertility. J. Sci. Food Agric. 1991, (57): 175-187 (责任编辑 邱夜明)

(上接第 42 页)

斥他国的经验,就是欺骗学生和反映一种愚蠢的沙文主义。国际化课程一般包括以下几种:一是专门的国际教育课程;二是注重国际主题研究的新课程;三是在已有的研究生课中增加一些国际方面的内容;四是国际普遍关注的重大课题和前沿问题的研究内容;五是地区性的研究内容。

参考文献

- [1] 秦惠民. 学位与研究生教育大词典[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1994. 237
- [2] 王秀卿, 张景安编. 国外研究生教育[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1987. 25
- [3] 杨惠敏. 浅议建立科学的博士生课程体系[J]. 中国电力教育, 1999, (2) (责任编辑 王宏章)