

文章编号: 1005-0906(2004)03-0036-04

优质蛋白玉米(QPM)选育方法和发展策略

李明顺, 张世煌, 李新海, 田清震, 白 丽

(中国农业科学院作物育种栽培研究所, 北京 100081)

摘要: 目前我国优质蛋白玉米(QPM)发展面临着种质基础狭窄、自交系来源复杂、病害严重和经济价值不能体现等问题。针对这些问题提出了一些解决方案:①种质基础可通过直接利用 CIMMYT 现有种质, 创建和利用半外来种质和将普通玉米自交系转为 QPM 近等基因系三种途径加以扩增。②根据种质特点、选育目标、抗穗腐病选育 QPM 自交系, 发展多种类型的杂交种。③开发 QPM 的经济价值。

关键词: 玉米; QPM; 种质扩增; 经济价值

中图分类号: S513.033

文献标识码: A

Strategies of Quality Protein Maize (QPM) Development

LI Ming-shun, ZHANG Shi-huang, LI Xin-hai, TIAN Qing-zheng, BAI Li

(Institute of Crop Breeding and Cultivation, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: There are some problems to develop quality protein maize (QPM) in China, which are narrow germplasm, not clear pedigree of QPM line, heavy disease and low economic value efficiency. This article gave some ways to these questions. ①The way to enhance QPM germplasm is improving CIMMYT's QPM germplasm, developing, using semi-exotic germplasm and improving normal lines to QPM lines. ②To establish the methods to select lines and combine hybrids. ③To exploit QPM economic value.

Key words: Maize; QPM; Germplasm improvement; Economic value

我国优质蛋白玉米 (QPM) 的研究起步于 1973 年, 经过 30 年的发展, 优质蛋白玉米杂交种选育技术已经达到国际先进水平, 以中单 9409 为代表的一系列 QPM 杂交种的产量已接近或略超过普通玉米, 全子粒赖氨酸、色氨酸含量比普通玉米高 80% 左右, 显著地改善了玉米品质。研究表明, 在其它因素相同的情况下, 用优质蛋白玉米饲料养猪比普通玉米饲料增重 30% ~ 50%, 蛋白质利用率较高, 动物粪便中氮的排出量少 (石德权等, 1995)。对于人口众多、资源贫乏的发展中国家, QPM 为农业的发展, 特别是养猪和养禽业的发展提供了经济有效和减少污染的饲料来源。

1 优质蛋白玉米(QPM)存在的问题

收稿日期: 2003-08-21

基金项目: 农业结构调整重大技术研究专项资助(3030223)

作者简介: 李明顺(1973-), 男, 河北昌黎人, 助理研究员, 主要从事玉米遗传育种及种质改良研究。

张世煌为本文的联系作者。Tel: 010-68918596

E-mail: cshzhang@public.bta.net.cn

1.1 种质基础狭窄

特用玉米种质基础狭窄是世界性问题。QPM 的研究相对于普通玉米育种起步晚。高赖氨酸玉米(即含有 opaque-2 纯合隐性基因的玉米)发现于 20 世纪 60 年代, 国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)的 Vasal 博士利用胚乳修饰基因将高赖氨酸玉米改良为 QPM。目前 CIMMYT 拥有 20 多个 QPM 群体和基因库, 发放的自交系只有 55 个(Vasal, et al. 1993)。云南和贵州两省由于生态环境适宜, 能够直接利用 CIMMYT 的 QPM 种质(番兴明, 2001)。但在地处温带的华北和东北, CIMMYT 的 QPM 种质具有强烈的光周期反应, 不能正常结实。热带、亚热带种质的光周期敏感性阻碍了 QPM 种质的扩增和改良。目前, 我国玉米主产区只成功地改良和利用了 Pool33 和 Pool34 两个群体(张世煌, 1995)。种质基础狭窄限制了 QPM 在我国的进一步发展。

1.2 自交系选育方法不当

我国玉米杂交种选育技术已经达到较先进的水平, 但杂种优势群和模式的研究落后于发达国家(王懿波等, 1997; Brown, et al. 1947, 1948)。在遗传多样

性研究滞后的状况下, 育种家只能根据经验选育自交系和组配杂交种, 忽略了系谱来源和杂种优势群。这使得不少自交系的系谱混乱, 使杂种优势群和模式复杂化, 造成资源和人力浪费, 降低了育种效率。为了避免这种情况, 在创建新种质、选育自交系和组配杂交种时应遵循杂种优势群和杂种优势模式的原理, 以最有效的方式利用 QPM 育种材料。

1.3 病害较严重

含有 opaque-2 纯合隐性基因的玉米胚乳为不透明粉质, 赖氨酸含量较高, 但是淀粉粒之间结构松散, 形成空隙, 因而子粒容重较低, 容易感染子粒病害和储藏害虫。QPM 则是在 opaque-2 纯合隐性基因的基础上增加了胚乳修饰基因, 既保持了较高的赖氨酸含量, 又将胚乳修饰为硬质透明型, 使胚乳硬化。QPM 与高赖氨酸玉米之间的差别在于是否含有胚乳修饰基因。我国北方多数 QPM 自交系为半硬质胚乳, 子粒不透明, 容易感染穗腐病, 这是不能大面积推广的原因之一。因此, 利用胚乳修饰基因提高硬度是发展和利用 QPM 的前提。此外, 我国的 QPM 杂交种还存在茎腐病、SCMV 和其它叶部病害, 但与 opaque-2 基因没有内在联系, 因而可以通过遗传途径逐渐解决。

1.4 经济价值不能体现

QPM 的优越性就在于改善品质, 提高了动物对饲料蛋白质的利用效率, 而不可利用的醇溶蛋白含量降低(Glover, et al. 1992)。至今为止, QPM 的经济价值尚未在大规模生产中得到体现, 仅在家庭式散户养殖得到体现, 种植业农户得不到相应的利润, 这是当前制约 QPM 大规模发展的主要因素, 成为 QPM 发展的瓶颈。

2 优质蛋白玉米(QPM)育种

2.1 材料创建和利用策略

自交系和杂交种的选育基础是有充足的种质资源。我国利用 QPM 种质有以下几个途径:

2.1.1 直接利用 CIMMYT 种质 中国农科院作物所对 Pool33 和 Pool34 两个基因库经过多年改良, 已完全适应北方环境, 重新定名为中群 13 和中群 14, 从中选育出 CA335、CA375 和 CA339 等一系列优良自交系。目前正组织力量改良 Pob69、Pob70、高油 QPM-W 和高油 QPM-Y 这 4 个群体, 先在黄淮海地区改良一轮, 然后在北京改良三轮, 目前 Pob69、Pob70 和高油 QPM-W 可在北京正常结实。这种方法从根本上解决了种质基础狭窄的问题。但 CIMMYT

的种质基础广泛, 对光周期变化敏感, 因而改良技术复杂, 需要在国家项目资助下, 多家单位长期合作才能较好地完成。在利用 CIMMYT 种质时, 还应注意这些种质的遗传结构。CIMMYT 的许多种质是为发展中国家创建的综合种或复合品种, 通常有较高的产量和抗逆性, 但杂种优势群已经发生混淆。我国以选育杂交种为主, 不应盲目利用这样的种质, 应设法利用杂种优势模式清晰的群体, 这样选育的自交系更容易组配出优良杂交种。

2.1.2 创建和利用半外来种质 构建半外来种质的原则是遵循杂种优势群和杂种优势模式的原理(李明顺等, 2000)。我们根据杂种优势群和杂种优势模式的原理组建了 9 个 QPM 半外来种质, 还有 3 个扰乱了杂种优势模式的 QPM 半外来种质。经过两年选育, 在 9 个保持杂种优势模式的后代群体中只有 1 个被淘汰, 而 3 个扰乱了杂种优势模式的半外来种质中已有 2 个被淘汰。这说明依照杂种优势群和杂种优势模式的原理选育自交系是有效的技术路线。被淘汰的保持杂种优势模式的半外来种质是由于感染矮花叶病, 而不是由于配合力方面的原因, 因此构建半外来种质在遵循杂种优势群概念的同时还应注意抗病性。在某些主要病害的抗性基因位点上, 构建半外来种质的两个材料应至少有一个含抗性基因。

构建 QPM 半外来种质还应注意 opaque-2 和胚乳修饰基因的关系。要设法把普通玉米种质导入到 QPM 中, 这是克服 QPM 种质基础狭窄和提高抗病性的有效途径。而对于不同种质的半外来群体首先要保证 opaque-2 基因隐性纯合。可采用两种方法: 第一种方法是分子标记。美国 Pioneer 公司和 Missouri 大学根据克隆的 o2 基因序列分析, 设计了三对 SSR 引物, 这三对引物可有效地检测单个植株是否为 o2 基因隐性纯合(Schmidt, et al. 1987)。第二种方法是在半外来种质 F₂ 代选择整个胚乳为不透明的子粒, 这样可保证 opaque-2 基因隐性纯合, 在 F₃ 代以后筛选胚乳为硬质的子粒。若两个种质均为优质蛋白玉米, 在选择过程中应主要观察胚乳修饰基因, 即在后代子粒中全部选择子粒透明的种子。

2.1.3 将普通玉米自交系转为 QPM 自交系 QPM 种质基础狭窄突出表现为 QPM 优良自交系非常少。而我国普通玉米自交系众多, 如果能够将普通玉米转为 QPM 近等基因系可大大解决 QPM 育种的瓶颈问题。普通玉米与 QPM 之间的差异仅在于是否含有纯合的 opaque-2 隐性基因和胚乳修饰基因。以往检测玉米中是否含有纯合 opaque-2 隐性基因只能通

过品质分析,赖氨酸含量在 0.4%左右的玉米即判断为含有 opaque-2 隐性基因。这种检测方式复杂,费用昂贵,并且无法检测杂合基因型。SSR 分子标记为共显性标记,技术简单,检测容量大。SSR 技术的出

现为获得含有纯合 opaque-2 隐性基因的近等基因系提供了技术上的可能(图 1)。中国农科院设计了一套技术路线可将我国普通玉米自交系转为 QPM(田清震等,2003),从而提高 QPM 育种水平。

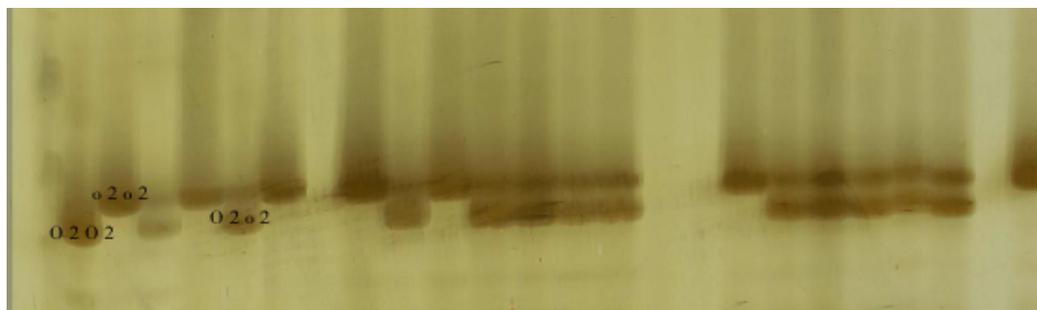


图 1 基因 opaque-2 纯合显性(O2O2)、纯合隐性(o2o2)和杂合体(O2o2)的 SSR 扩增带(引物 phi057)

2.2 优质蛋白玉米自交系和杂交种的选育策略

QPM 自交系和杂交种的选育方法与普通玉米没有太大区别,通常根据杂种优势模式的原理选择一个有代表性的自交系作测验种鉴定自交系的配合力。在选系过程中,要针对种质特点和育种目标等进行选育。

2.2.1 种质特点 在选育自交系时,应了解种质的来源、具体性状的缺点和优点。由于杂种优势群和杂种优势模式研究的滞后,我国育种家根据育种经验和农艺性状选育自交系,而对于自交系的种质来源、祖代亲本特性则了解很少,这给可持续性育种研究带来许多困难,很难做出有把握的育种设计。中国农科院作物所应用分子标记技术研究了我国 200 多个自交系的遗传多样性,这个结果可以使育种家了解未知材料的遗传基础,然后更有效地改良和利用这些材料。

2.2.2 选育目标 育种目标决定了对种质的选择。首先要针对现有自交系的缺陷利用适当的种质弥补这种缺陷,还要研究与什么自交系杂交才能发挥最大潜力。要注意杂交种的发展方向,这决定了种质的选择方向。例如,中单 9409 的母本是齐 205,具有很高的配合力,产量潜力高,但倒伏严重,抗病性和结实性差;父本 CA375 具有较高的配合力,但是抗倒性一般,子粒半透明。这造成中单 9409 产量潜力很高,但是易倒伏和感染穗腐病。今后应选择齐 205 同一杂种优势群的种质,改良其抗倒性、抗病性和子粒性状。

2.2.3 抗穗腐病 我国 QPM 自交系普遍存在硬质地差、脱水慢和苞叶紧等缺点。为了克服穗腐病,有必要选择全硬质的子粒类型、后期脱水快和苞叶松散的基因型。CIMMYT 培育出许多硬质胚乳的

QPM,可以用来改善我国 QPM 的子粒特性。或将普通玉米种质导入 QPM,也可提高抗病性,改良穗部性状。

2.2.4 QPM 杂交种类型 实现 QPM 杂交种多元化,配制不同类型的新组合。如根据生育期分为早熟、中熟和晚熟,根据耐密性分为高秆大穗型和耐密型等。

上述几种方法可有效地培育 QPM 自交系和杂交种,但解决 QPM 大规模发展的一个根本性问题在于其经济价值的体现和利用。

3 优质蛋白玉米的发展策略

3.1 优质蛋白玉米饲料价值分析

QPM 的胚乳蛋白质中含有较多的赖氨酸和色氨酸,可大大提高蛋白质转化效率,有利于单胃动物吸收和利用。试验表明,用高赖氨酸玉米替代普通玉米日粮中的饼粕类蛋白质来源,猪的总增重和日增重均有所提高,节约了饼粕类饲料,消耗增重比降低(杨振和等,1992;姜相富等,1995; Cromwell, et al. 1967)。试验表明,用 QPM(中单 206)等量替换普通玉米, QPM 组肥育猪(>60kg)的日增重高于普通玉米组($P<0.05$)(金水仙等,1997)。Burgoon 等(1992)研究表明,在日粮中豆粕含量较低时,用 QPM 等量代替普通玉米,猪的日采食量和日增重均提高($P<0.05$),饲料报酬趋于改善($P<0.05$)。当赖氨酸水平(0.66%)相同时,日增重、饲料报酬和日采食量一致。因此, QPM 中只需补充较少的蛋白就可获得与较高豆粕普通玉米日粮一样好的生产性能。

生长猪试验表明,在日粮中豆粕含量较低时,用 QPM 等量代替普通玉米的生长性能(日增重、饲料报酬)优于普通玉米组($P<0.01$)。当两组日粮的赖氨

酸相等(0.7%)时,日增重相同,但 QPM 日粮组的饲料报酬低 4%($P<0.05$)(武书庚)。

高俊等(2002)试验表明,QPM 的净蛋白利用率(存留氮/食入氮)极显著地高于普通玉米组($P<0.01$),这表明 QPM 的氨基酸模式更符合猪的营养需要,蛋白质品质更好(高俊,2002;Cromwell,1969;Sullivan,1989)。同时,优质蛋白玉米组的氮排泄率[(尿氮+粪氮)/食入氮]极显著低于普通玉米组($P<0.01$),分别为(51.6±6.7)%和(61.3±4.7)%;QPM 比普通玉米低 9.7 个百分点。

上述试验表明,QPM 代替普通玉米可提高饲料转化率,具有较高的经济价值,而这种经济价值多年来仍未被开发利用,这限制了 QPM 的发展。

3.2 优质蛋白玉米的发展策略

3.2.1 国家支持优质蛋白玉米育种研究 这不仅限于 QPM,对所有具有潜在经济价值但目前尚无法在市场中体现的作物种类和品种,国家都应从科研经费上给予支持。QPM 在社会中广泛应用时,将为社会节省大量资源,创造大量价值。QPM 含有较高的赖氨酸,等于在种植玉米的同时又附加生产赖氨酸,大大减少对合成赖氨酸的需求,节省工业原料,降低饲料成本,创造价值。QPM 用于饲料业可减轻集约化养殖对环境的污染,为畜牧业可持续发展提供优质原料。

QPM 育种难度超过普通玉米数倍。QPM 必须含有 opaque-2 纯合隐性基因,这表明在创造种质时,QPM 育种比普通玉米的工作量高出几倍。在选育 QPM 自交系过程中,需附加选择子粒透明度,才能保证优质蛋白玉米的抗病性,这给 QPM 育种增加了难度,育种家的兴趣不大。因此,国家必须对其研究进行长期资助。

3.2.2 在畜牧业发达的地区发展 QPM 显然,只有把 QPM 应用于畜牧业其价值才能体现,在畜牧业发达的地区推广 QPM 更有利于畜牧业对其广泛利用。

3.2.3 开发 QPM 经济价值 以往育种家投入大量精力选育 QPM 杂交种,产量水平接近或超过普通玉米,但种植面积并不大。许多人认为,优质能够吸引农民的种植兴趣,可是以卖粮为主的种植户无法获得 QPM 的附加价值,因此农民兴趣不高。发展 QPM 应重点开发利用其特殊的经济价值,单靠农民自己是无法完成的。所以,其推广方向应转向能利用其潜在商品价值的饲料业和畜牧业。一个中等规模的饲料公司每年销售饲料约 20 万 t,若每吨饲料降低成本 10 元,其年利润可提高 200 万元。因此,推动

QPM、饲料行业和畜牧业联合,将大大提高其发展潜力。目前这种联合面临以下几个问题:第一保证饲料公司增加利润,第二保证农民增加收入,第三保证饲料公司得到真实的 QPM 原料。

确保增加利润才能使饲料公司对 QPM 产生兴趣,这是体现 QPM 经济价值的基础。根据 QPM 的营养成分,设计出相应的饲料配方,降低成本可保证饲料公司的利润。饲料公司研制出适合每一个 QPM 品种的预混料配方。通过降低豆饼和赖氨酸添加量来降低成本,同时提高饲料转化效率,以较低价格出售给养殖户。通过低价位的 QPM 饲料产品提高公司的市场竞争力,以低成本来提高利润,使饲料公司对 QPM 产生兴趣。只有种植 QPM 品种的农户才能利用这种低价位的浓缩料,降低农户的饲养成本,提高饲料效率,增加收入。通过该途径保证饲料公司和农民都从 QPM 中得到实惠,才能实现 QPM 的经济价值。

4 开发新的利用方式

QPM 的胚乳蛋白质结构和水稻相似。在非洲等发展中国家,QPM 是作为改善营养结构、保证人们温饱的食品来推广的。我国的玉米主要用作饲料,但随着生活水平的提高,居民要求多样化和健康型的食品,这给 QPM 提供了新的利用方式。

5 小 结

我国的 QPM 育种发展得比较快,随着居民生活水平的提高,市场对畜牧产品的需求将会成倍增长,畜牧业将有跨越式的大发展。QPM 提高了动物对饲料玉米中蛋白质的利用效率,减轻因集约化养殖而造成的水体和土壤的污染,有利于保护环境,提高农业可持续发展。充分开发 QPM 的经济价值是促进其发展的关键。

参考文献:

- [1] Brown W L, Anderson E. The northern flint corns. *Ann. Missouri Bot. Gard.*, 1947, 34: 1-28.
- [2] Brown W L, Anderson E. The southern dent crows. *Ann. Missouri Bot. Gard.*, 1948, 35: 255-268.
- [3] Crommwell G L, Pickett R A, Cline T R. and Beeson W M. Nitrogen balance and growth studies of pigs fed opaque-2 and normal corn. *J. Anim.Sci.*, 1969, 28: 478.
- [4] Vasal S K, et al. Heterosis and combining ability of CIMMYT's quality orotein maize germplasm II.Subtropical. *Crop Sci.*, 1993, 33: 51-57.

(上接第 39 页)

- [5] Glover D V. Corn proteins—genetics, breeding, and value in foods and feeds. P9–48. In Mertz ET (ed) Quality protein maize. Am Assoc of Cereal Chemists, St Paul MN, 1992.
- [6] Schmidt R J, Burr F A, Burr B. Transposon tagging and molecular analysis of the maize regulatory locus opaque-2. Science, 1987, 238: 960–963.
- [7] Sullivan J S, Knabe D A, Bockholt A J and Gregg E J. Nutritional value of quality protein maize and food corn for starter and growth pigs. J. Anim.Sci., 1989, 67: 1285.
- [8] Burgoon K G, Hansen J A, Knabe D A and Bockholt A J. Nutritional value of quality protein maize for starter and finisher swine. J.Anim. Sci., 1992, 70: 811.
- [9] 石德权. 优质蛋白玉米[M]. 北京:中国农业出版社,1995.
- [10] 张世煌,石德权,徐家舜,等.对两个亚热带优质蛋白玉米群体的适应性混合选择研究 I. 开花期性状的直接选择响应[J].作物学报,1995,21:271–280.
- [11] 张世煌,石德权,徐家舜,等.对两个亚热带优质蛋白玉米群体的适应性混合选择研究 II. 相关响应[J].作物学报,1995,21:513–519.
- [12] 王懿波,王振华,陆利行,等.中国玉米种质杂种优势利用模式研究[J].中国农业科学,1997,29(4):16–24.
- [13] 番兴明,谭静,黄必华,等.优质蛋白玉米自交系产量的特殊配合力及其杂种优势模式的初步分析[J].作物学报,2001,27(6):986–992.
- [14] 李明顺,张世煌,彭泽斌,等.玉米半外来种质的构建与利用[J].中国农业科学,2000,33(增刊):15–19.
- [15] 姜相富,刘忠琛,刘刚.高赖氨酸玉米饲喂育肥猪试验[J].饲料与畜牧,1995,16(3):20.
- [16] 金水仙,卢福庄,等.高赖氨酸玉米和普通玉米对猪氨基酸消化率的影响[J].中国饲料,1997,(2):22.
- [17] 金水仙,卢福庄,楼洪兴.高赖氨酸玉米和普通玉米对猪的营养价值评定[J].养猪,1998,(1):4–5.
- [18] 杨振和,陆文波,李晓光,等.高赖氨酸玉米饲养育肥猪试验[J].饲料研究,1992,(7):18.
- [19] 翟少伟,齐广海,刘福柱.优质蛋白玉米的营养价值及发展前景[J].粮食与饲料工业,2002,(6):23–25.
- [20] 高俊,齐广海.优质蛋白玉米对猪的生物学价值及氮代谢研究[J].中国饲料,2002.(12).