

徐瑞洋 编著

农业出版社

高粱品质育种



高粱品质育种

徐瑞洋 编著

农业出版社

高粱品质育种

徐瑞洋 编著

* * *

责任编辑 赵源林

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 15.5印张 317千字

1987年5月第1版 1987年5月北京第1次印刷

印数 1—1,100册

统一书号 16144·3197 定价 3.65元

前 言

提高和改良禾谷类作物的品质,是当前育种工作的方向。食品的营养价值已成为人们非常关心的问题。近十几年来,由于单纯强调粮食产量,推广高产品种,质与量、产与销、供与求的矛盾日益突出。随着人们的需求和生产结构的变化,优质品种在市场的竞争中,易于被消费者接受,促使人们开始重视对品质改良的研究。与其它禾谷类作物相比,杂交高粱产量高,蛋白质含量低,质量差,因此,改良高粱品质就显得更为重要。

在我国的高粱品质改良中,人们在不断提高产量的基础上,利用各种遗传材料,努力改良高粱的食用、饲用和酿造品质。因此,深入了解高粱的品质特性、营养价值、子粒加工、遗传育种以及各种经济性状的遗传规律,掌握高粱品质育种的基本理论、选育方法和培育途径很有必要。这样,可以减少盲目性,节约人力、财力,尽快达到优质高产的目的。

这本书是作者根据国内外文献资料和自己的一些试验结果,整理编写而成的。书中从理论和实践上比较系统地阐述了高粱的营养成分、品质育种目标、优质品种资源及其分类;品质性状的遗传、相关性;系统选择、杂交育种、群体改良;高蛋白和高赖氨酸不育系、恢复系及杂交种的选育方

法等。这本书主要面向农业院校师生和农业科技人员，同时力求满足县、乡种子部门的需要。书中介绍了一些优质高产的不育系、恢复系和杂交种。

本书写成后，由徐冠仁、张孔湑、李兆琚、杜荣骞、戴灼华、乔魁多、牛天堂、魏振山、李公德、鄢锡勋以及张纯慎、常碧影、曹文伯、张文毅、郭省三、罗耀武、度振平、侯荷亭等同志分章进行了修改和补充，对提高书稿的质量起到了很大的作用，在此表示谢意。

由于水平有限，书中肯定会有不妥之处，敬请读者多加指正。

作 者

1985年5月

目 录

一、高粱的构造及化学成分	1
(一) 高粱子粒的形态结构及化学成分	1
(二) 高粱茎、叶的形态结构及化学成分	19
(三) 高粱的化学成分与其它条件的关系	31
二、高粱的分布和品质育种目标	42
(一) 高粱在世界各国的分布概况	42
(二) 高粱品质的生态地理分布	48
(三) 优质优良高粱品种的概念	54
(四) 优质高粱育种目标的制定	58
三、高粱的进化和品质资源	64
(一) 高粱的进化	64
(二) 中国高粱的起源	65
(三) 高粱的分类	73
(四) 国外高粱的引种和利用	86
(五) 原始材料的收集、整理、保存和鉴定	89
四、高粱性状的遗传	93
(一) 高粱植株形态性状的遗传	93
(二) 高粱的成熟期和光周期	103
(三) 高粱育性的遗传	105
(四) 高粱胚乳性状的遗传	109
(五) 高粱子粒品质性状的遗传	113

(六) 高粱抗虫和抗病性的遗传	117
(七) 高粱性状的连锁遗传	120
五、高粱主要性状的遗传力和相关性	126
(一) 高粱性状的遗传力	126
(二) 高粱性状间的相关性	135
六、系统选择培育优质品种	153
(一) 系统选种的材料来源	153
(二) 高粱的系统选择程序	156
(三) 系谱编号	160
七、有性杂交培育优质品种	163
(一) 高粱花序的构造和开花授粉的特性	163
(二) 高粱亲本的搭配	169
(三) 杂交方式	176
(四) 杂交技术	181
(五) 杂种后代的选择	185
(六) 加速世代的培育方法	192
八、高蛋白、高赖氨酸品种的培育	201
(一) 利用高赖氨酸突变系杂交	201
(二) 培育黄色胚乳高粱	209
(三) 诱变高赖氨酸品系	214
(四) 高赖氨酸的衍生品系与P—721杂交	218
九、高粱品质的群体改良育种	221
(一) 高粱群体改良育种的意义	221
(二) 群体改良的步骤和方法	224
(三) 高粱群体改良应注意的问题	235
十、糖高粱品质的改良	239
(一) 糖高粱的经济价值	239

(二) 糖高粱的品种	243
(三) 糖高粱品种的遗传选育	246
(四) 糖高粱制糖工艺的研究	259
十一、高粱其它若干重要性状的育种	263
(一) 高粱抗丝黑穗病的育种	263
(二) 高粱鸟害抗性的育种	268
(三) 高粱抗低温冷害的育种	273
(四) 高粱高光效育种	278
(五) 高粱抗旱育种	284
(六) 高粱单倍体育种	293
(七) 高粱抗蚜育种	298
十二、高粱优质雄性不育系的培育	306
(一) 高粱雄性不育的早期研究	306
(二) TX3197A胞质雄性不育系的产生	307
(三) 细胞质雄性不育的类型	308
(四) 胞质雄性不育性的育性表现	312
(五) 高粱不育系回交后代不育性的鉴定	314
(六) 自然条件对雄性不育性的影响	318
(七) 培育不育系的方法	323
十三、高粱优质恢复系的选育	335
(一) 广泛利用农家品种资源	335
(二) 恢复因子累加(恢×恢)法	336
(三) 诱变高粱恢复系	340
(四) 利用胞质杂种选育恢复系	346
(五) 利用回交法转育恢复系	349
十四、优质杂种高粱的选育	354
(一) 父母本性状与杂种一代的关系	354

(二) 高粱配合力的估算方法	361
(三) 高粱各种性状的配合力	378
(四) 优质高产杂交种的选配	383
(五) 杂种高粱的选育方法	388
十五、优质杂交组合及其亲本介绍	393
(一) 优质杂交组合	393
(二) 优质不育系	411
(三) 优质恢复系	419
十六、优质杂交高粱的繁殖与制种技术	425
(一) 繁殖与制种技术	425
(二) 隔离区的设置	429
(三) 播期调节和播种技术	432
(四) 人工辅助授粉	433
(五) 做好去杂去劣工作	434
(六) 建立严格的种子管理制度	435
(七) 高粱亲本的防杂保纯	436
(八) 提高高粱种子发芽率的三项措施	442
附录 1 高粱品质的化验分析方法	444
附录 2 高粱遗传力的估算方法	456
附录 3 高粱丝黑穗病抗病性鉴定结果	464
附录 4 中国高粱品种资源旱、瘠、蚜虫和玉米螟抗性 鉴定	475

一、高粱的构造及化学成分

高粱的植株主要由子粒、茎、叶等组成，其它部位所占的比重较小。了解高粱的发育和构造及其化学成分，对改进高粱品质、选育优良品种，均有重要意义。

（一）高粱子粒的形态结构及化学成分

1. 子粒的形成过程

高粱子粒的发育过程，实际上是胚和胚乳的发育过程。高粱受精后的卵细胞合子开始发育，即胚乳细胞开始产生。受精卵进行第一次有丝分裂，经 10 天左右形成幼胚，胚乳原核经多次有丝分裂，约 35 天后发育成胚乳。这时，茎、叶内的有机物质向子粒输送。根据沈阳农学院（1977）的研究资料，高粱在开花后 4、9、14、20、25、30、36 天 7 个时期时，上、中部子粒分别占成熟后全子粒重的 4.5%、12.1%、32.9%、49.7%、66.3%、83.8%、96.3%；下部子粒分别占 2.2%、11.5%、22.4%、39.1%、62.7%、73.7%、89.8%。高粱授粉后 15 天，子粒就具有较高的发芽力，但这个时期胚和胚乳内均含有 58—68% 的水分，如不迅速干燥，种胚就易发霉，发芽力降低甚至失去。在子粒的整个发育过

程中，胚的发育比胚乳迅速，因此胚较胚乳成熟也早。胚内含大量的脂肪和蛋白质，胚乳主要含有淀粉和蛋白质。胚乳为种子发芽和三叶期以前的幼苗生长提供养料。

高粱粒重的大小与抽穗后植株生产有机物质的多少及运转分配有关，与每穗结粒数也密切相关。有机物质的生产与运转又因温度、水分、养分、光照等外界条件的不同而有很大差异。高粱在开花结实期间，生理活性旺盛，温度对子粒灌浆有很大影响。据马鸿图（1977）的试验表明，子粒形成期，温度在 23°C 以上时，千粒重达 8.8g ；在 19.9°C 时，千粒重仅 4.4g 。乳熟期，平均温度在 22°C 以上时，千粒重日增 1g 以上。温度低于 16°C 时，灌浆缓慢或停止，空秕率显著增多。如在子粒形成期与乳熟期的平均温度为 19.9°C 及 16.1°C ，其空秕率分别为 3.6% 和 80.1% ，会造成严重减产。高粱灌浆和成熟期间的适宜温度是 $22-24^{\circ}\text{C}$ 。

高粱灌浆成熟期间，茎叶制造与贮存的养分大量向子粒输送，需要适宜的水分，这个阶段需水量占全生育期总需水量的 28% 左右，田间持水量保持在 70% 左右较为适宜。高粱粒重及产量的高低与抽穗后有较大的绿叶面积和较高的光合同化量有很大关系，氮素充足，能够延长叶片寿命，保持较高的叶面积系数的时间较长，有利于光合产物的增加和子粒中干物质的积累。磷肥能促进碳水化合物与含氮物质的转化、运输，使子粒饱满，粒重增加，还可提早成熟。在高粱子粒的成熟过程中，粒重的增加和有机物质的积累，主要靠抽穗后的光合产物所提供。光照是影响光合作用强弱的主要因素，光照充足，光合同化量多，有机物的运转加快，子粒

充实饱满。光照不足，不仅光合强度减弱，而且对氮、磷养分的转化运输有抑制作用，灌浆过程延缓，粒重降低。

2. 子粒的构造

高粱的子粒就是通常所说的种子，实质是一种单粒种子的果实，植物学上称颖果，通常多称为子粒或种子。子粒和种子的概念，在一般情况下似乎是一致的，但严格说来子粒的概念比较广泛，它的含义可以包括种子，而种子的概念则是指专门用作大田播种或繁殖用的。因为并不是任何子粒都是很好的种子。

种子的大小和重量因品种和栽培条件的不同而异，一般千粒重 20—30g，最小的只有 7g，最高的可达 61g。

高粱子粒的组织结构（图 1），包括果皮、种皮、胚和胚乳。

高粱子粒的最外层由果皮和种皮所构成。果皮由子房壁发育而成，种皮由胚珠壁发育而成，二者紧密相连，难以分开，习惯上统称为种皮，有保护种子的作用。

高粱的果皮，由表皮、外果皮、中果皮、叶绿层和纵细胞层所组成，位于种皮的最外部。表皮为一层长形的细胞，细胞壁较厚，壁上具有许多单纹孔。中果皮位于表皮下面，

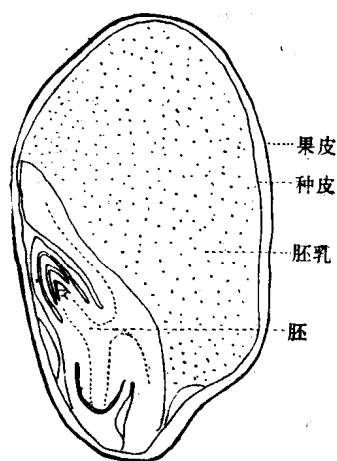


图 1 高粱种子的剖面

由数层狭长的细胞所组成，它的下面为叶绿层，故种子在未成熟以前多呈绿色。随着种子逐渐成熟，其色泽也逐渐消失。艾扬加（Ayyanger）等人对太量栽培种和野生种高粱进行过测定，发现野生种的果皮一般比栽培种薄，原产于非洲的野生种高粱通常没有中果皮。

种皮位于叶绿层与糊粉层之间，当种子未成熟以前，由3—4层细胞所组成。完全成熟时干缩成一薄层。颜色较深的子粒，种皮的细胞内含有花青素和单宁，有苦涩味。出米率高的优质高粱品种，种皮很薄或无种皮。

胚乳位于种皮的内部，约占子粒重的84%左右，由淀粉层和糊粉层组成。紧贴糊粉层有一层富含蛋白质的基质，这部分由2—6层细胞的中心层组成，叫做外围胚乳层。高粱的淀粉呈多角形，较糯米的淀粉粒大1.5—2倍，其直径约为15—20 μ m，有时多集于一起而成一圆形或椭圆形的复合淀粉粒。淀粉有粳、糯两种。糯种因含有糊精较多，对碘及碘化钾呈蓝色反应。糯性高粱的淀粉在胚乳中分布均匀，易于消化吸收。

高粱的胚乳因组织结构不同，通常可分为角质、蜡质、粉质和黄色胚乳型等。角质胚乳型的断面呈透明状，蜡质胚乳型断面呈蜡状。粉质胚乳型的子粒，其胚乳结构疏松，黄色胚乳型的子粒则含有丰富的胡萝卜素。

高粱的胚位于子粒腹部的下端，占子粒全重的10%左右，由盾片、胚芽、下胚轴和胚根四个部分所组成（图2）。下胚轴与盾片、胚芽及胚根三部分相连接，将来发育成为主茎。下胚轴的上部为胚芽，由生长力极为旺盛的多数细胞所

组成。胚根位于下胚轴的下部，为胚根鞘所覆盖，种子发芽时，冲破种皮，迅速生长，即高粱种子的初生根，也叫种子根。盾片的表层为一层薄壁的上皮细胞，将胚乳与胚隔离。种子发芽时上皮细胞分泌很多酶，其中的淀粉酶，将胚乳中的淀粉变为可溶性物质，以供胚的发育之用。

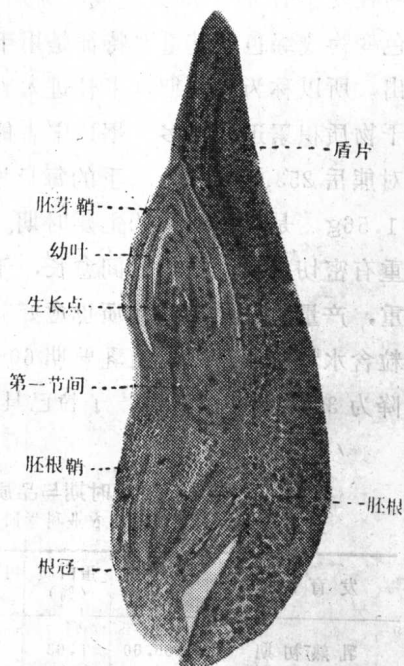


图2 高粱种胚的纵切面

3. 子粒的发育时期 与品质和产量的关系

从胚和胚乳开始发育到子粒成熟，要经过

灌浆期、乳熟期、蜡熟期和完熟期，子粒在每个发育阶段，其品质和产量都有不同特点，熟悉这些特点，对于选择优良的品质组合和制定栽培技术均有重要意义。

(1) 灌浆期 也叫子粒形成期，这是受精后子房膨大不久的时期，约于受精后 15 天左右完成。这时子粒呈绿色，因大量的水分和养分向子粒中运转，体积急剧增长，子粒中充满汁液，故含水量较高，干物质较少。

(2) 乳熟期 从子粒开始形成到蜡熟前期为乳熟期，

约在受精后 30—35 天完成，为期 15—20 天。子粒颜色由绿色变为浅绿色，其重要特征是用手指挤压，乳状汁液即可流出，所以称为乳熟期。子粒进入乳熟阶段，灌浆强度增大，干物质积累迅速增多。据辽宁省熊岳农业科学研究所 1965 年对熊岳 253 测定，千粒重的每日增长量为 0.54g，最高可达 1.56g，是粒重增长的主要时期。乳熟期的长短与品质和粒重有密切关系，持续时间愈长，干物质积累愈多，子粒就愈重，产量也就愈高，品质也愈好（表 1）。从乳熟期开始，子粒含水量逐渐下降，由乳熟期 60—70% 的含水量，到蜡熟期降为 30% 左右，此时，子粒已具有正常的发芽能力。

表 1 发育时期与品质和产量的关系
(辽宁省熊岳农业科学研究所, 1965年)

发育时期	淀粉 (%)	蛋白质 (%)	可溶性糖 (%)	千粒重 (g)	亩产量 (kg/亩)	产 量 (%)
乳熟初期	66.60	8.63	1.41	21.17	267.1	62.10
乳熟末期	70.20	7.79	1.50	25.98	331.0	77.01
蜡熟中期	72.00	7.86	1.62	25.55	386.25	89.80
蜡熟末期	72.90	7.74	1.50	27.21	433.1	100.70
完熟期	68.40	7.76	1.41	27.21	429.95	100.00

(3) 蜡熟期 从乳熟末期以后到完全成熟以前为蜡熟期，有时也称黄熟期。大约在受精后 45 天左右完成，为期 10—15 天。子粒含水量由 33% 降至 20%，有时降到 15%。子粒的内含物已基本凝固，用手挤压，不再流出汁液，呈蜡状，并逐渐缩小变硬，所以称蜡熟期。干物质的积累也由快变慢，

到蜡熟末期接近停止，干重达到最大值。因品种不同而呈现红、黄、白等粒色，蜡熟末期收获，不仅淀粉含量最高，而且产量也最高。

(4) 完熟期 也叫成熟期，子粒的内含物已成固体状，用指甲不易切破，有时易从穗上脱粒，若不及时收获，不但产量降低，子粒中的蛋白质、淀粉和可溶性糖的含量也均会降低，影响其品质。

4. 子粒的化学成分

高粱子粒由胚乳(84%)胚(10%)和果皮(6%)组成。高粱子粒含有丰富的营养成分。其中主要成分是淀粉、糖类、脂肪、蛋白质、氨基酸、维生素和矿物质等。

(1) 淀粉 高粱淀粉是植株体内能量贮藏的主要形式，它的主要经济价值就在于子粒含有较多的淀粉且具有较高的能量。胚乳中淀粉粒的大小平均值为 $15\mu\text{m}$ ，比玉米淀粉粒大 $5\mu\text{m}$ 。但高粱果皮中的淀粉粒则小得多。淀粉粒的形状在不同胚乳类型中是不同的，在角质胚乳中淀粉呈多面体状，结构致密，排列整齐；在粉质胚乳中呈圆形状，结构松散，排列不整齐。高粱淀粉的密度大约是 1.5g/ml (巴勒姆 Barham, 1946)。

淀粉又分直链淀粉和支链淀粉两种。直链淀粉是一种 $\alpha-1,4$ 连结形式的排成直链的葡萄糖基的聚合体，较难溶于水，但从水中用丁醇可淀析出来。支链淀粉除了 $\alpha-1,4$ 连结形式外，还约有5%的 $\alpha-1,6$ 形式连结，形成分枝的或丛生的结构。这两种淀粉在它们的链上都有大量的无水葡萄糖残基。直链淀粉的分子量为 $2 \times 10^5 - 7 \times 10^5$ ；支链淀粉的

分子量为 10^6 — 10^7 。粒用高粱一般品种的直链淀粉含量为 23—28%，支链淀粉含量为 72—77%。蜡质（又称糯质、粘性、软性）高粱品种的淀粉，全部是支链淀粉。

（2）糖类 糖是子粒中淀粉的前体。高粱开花授粉以后，子粒开始灌浆膨大，糖的含量也逐渐增加，授粉后第 12 天时，含量达到子粒重量的 10% 左右；随后开始下降，到授粉后第 32 天时，含量降至 1% 左右；子粒成熟后，每一子粒中约含有 0.25mg 左右的糖分。

用纸层析法和化学衍化法研究高粱子粒中的糖分，发现粒用高粱除含有蔗糖、果糖、葡萄糖外，还含有三糖（密三糖、棉子糖）和四糖（水苏四糖）。沃森（Watson）等人 1960 年测定了包括蜡质类型和糖质类型在内的几个高粱品种的含糖量（表 2），从中可以看出：

表 2 粒用高粱的糖类
(每 100g 子粒干物质中的含糖克数)

品 种 名 称	淀粉	水溶性糖	寡糖总量	果糖	葡萄糖	蔗糖	麦芽糖	三糖
C. K ₈ T	69.90	—	1.15	0.05	0.04	0.84	0	0.13
蜡质卡佛尔	69.30	—	1.39	0.14	0.14	0.95	0	0.12
白蜡卡佛尔	68.60	—	1.07	0.09	0.09	0.77	0	0.09
糖质菲特瑞塔	56.70	7.90	2.96	0.38	0.34	1.97	0.05	0.13
糖质迈罗	31.50	28.40	2.68	0.05	0.22	2.20	0.02	0.10

糖质胚乳类型的高粱品种，淀粉虽然含量较低，但寡糖总含量较高，蔗糖在所有的品种中都是主要成分，糖质菲特