



中华人民共和国农牧渔业部



农业生产技术基本知识

作物杂种优势利用

张全德 编著



231
32 作



农业出版社



中华人民共和国农牧渔业部主编

农业生产技术基本知识

作物杂种优势利用

张全德 编著

农业出版社

中华人民共和国农牧渔业部主编

农业生产技术基本知识

作物杂种优势利用

张全德 编著

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

保定印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 3.75印张 74千字

1983年12月第1版 1983年12月保定第1次印刷

印数 1—217,000册

统一书号 16144·2700 定价 0.45元

出版说明

近年来，我国广大农村干部、社员，为了加快发展农业生产，建设起发达、富庶的农村，逐步地实现农业现代化，学习农业科学技术知识的热情空前高涨，广大农村出现了爱科学、学科学、用科学的新气象。为了适应广大读者学习上的迫切需要，这一套《农业生产技术基本知识》，经过重新增补修订，体现了知识更新，反映了农业科技发展的新水平，现在以其崭新的风貌和读者见面了。

《农业生产技术基本知识》原是在五十年代组织编写的。自初版问世以来，经三次增补修订，由最初的二十三分册发展为三十三分册，再版四次，深受农村干部和群众欢迎，对发展农业生产起到一定的积极作用。这次重新修订编写，为便于读者按专业阅读，在原来三十三分册的基础上发展为一百多分册，力求每个学科既突出重点，又有系统性。丛书内容注重理论联系实际，以阐明科学知识为主，兼顾技术上的应用；文字力求通俗易懂，深入浅出，是一套适于广大农村干部和群众自学的农业科普读物。

为使这套涉及农林牧副渔多学科丛书保证质量，我们邀请了有关方面的专家、学者组成了本书的编审委员会。值此丛书重新出版之际，谨向本书编著者及各位编审委员致以

衷心的感谢。

农业科技人员的勤恳工作和广大农业生产者的创造性劳动，推动着我国的农业科学技术蓬勃发展，科技成果层出不穷，由于我们掌握的资料有限，未能充分地反映到这套丛书中来，不足之处，热诚希望读者提出宝贵意见，以便今后在修订中逐步补充完善。

目 录

第一节 杂种优势的表现及其产生原因.....	1
一、杂种优势的概念	1
二、杂种一代优势的表现	3
三、杂种二代优势的衰退	9
四、产生杂种优势的原因	11
第二节 杂种优势的利用与作物的繁殖方式.....	18
一、有性繁殖作物	18
二、无性繁殖作物	20
三、作物杂种优势利用的基本条件	21
四、不同繁殖方式利用杂种优势的特点	21
第三节 作物雄性不育的利用.....	24
一、“三系”的概念和应用	25
二、雄性不育的类型及其遗传特点	28
三、“三系”遗传上的相互关系	31
第四节 玉米杂种优势的利用.....	33
一、玉米杂交种的类型	34
二、玉米的花器结构和开花习性	36
三、玉米自交系的选育	41
四、杂交玉米的繁殖和制种	49
第五节 水稻杂种优势的利用.....	56
一、水稻的花器结构和开花习性	56
二、水稻“三系”的选育	58

三、杂交水稻的繁殖和制种技术	69
第六节 高粱杂种优势的利用	81
一、高粱的花器结构和开花习性	82
二、高粱“三系”的选育	84
三、杂交高粱新组合的选育	91
四、杂交高粱的繁殖和制种技术	93
第七节 化学杀雄技术的应用	96
一、化学杀雄的基本原理	97
二、水稻化学杀雄的制种技术	100
三、小麦化学杀雄制种技术	103

第一节 杂种优势的表现 及其产生原因

本世纪作物育种突出的成就之一，是开创了杂种优势的利用。它已成为提高作物产量、改进品质的重要措施之一。

我国劳动人民利用杂种优势已有悠久的历史，早在1,400年以前就有了文字记载。后魏贾思勰著的《齐民要术》一书中就记述到马和驴杂交产生骡子，还认识到杂交亲本与杂种一代优势的关系。对于作物杂种优势利用的研究始于本世纪五十年代。到七十年代初期，大面积推广了杂交玉米和杂交高粱，对提高单位面积产量起了相当大的作用。近年来，我国杂交水稻的研究获得了重大突破，成为世界上第一个大面积种植杂交水稻的国家。

人们从实践中越来越认识到，利用杂种优势可以获得很多的好处。现在，又开展了小麦、棉花、油菜等作物杂种优势的利用，不断开辟杂种优势利用的新途径。

一、杂种优势的概念

杂种优势是生物界的普遍现象。它的含义是指两个遗传

组成不同的亲本杂交产生的杂种一代（用 F_1 表示），在生长势、生活力、繁殖力、抗逆性、产量和品质上，具有比双亲优越的现象。杂种一代的这种优越性称为杂种优势。

但并非所有杂种一代都具有杂种优势。杂种一代与其亲本相比较，在生长发育、产量等方面有三种不同的情况：一是杂种和亲本并无显著差异；二是杂种比亲本更差；三是杂种比亲本显著优越。一般情况，杂种一代以第三种情况最为普遍，即杂种表现出通常所称的杂种优势。

作物的杂种优势往往表现在某些可以测定（称量、测量、清点）的相对性状，如产量、粒重、株高、每穗粒数等方面。这些相对性状绝大多数是数量性状，所以常用数值大小来衡量和表示杂种优势的强弱。常用的估算方法有三种：

$$1. \text{杂种优势 (\%)} = \frac{\text{杂种一代 (F}_1\text{)} - \text{双亲平均值}}{\text{双亲平均值}}$$

$$\times 100$$

$$2. \text{超亲优势 (\%)} = \frac{\text{杂种一代 (F}_1\text{)} - \text{较好亲本}}{\text{较好亲本}} \times 100$$

$$3. \text{对照优势 (\%)} = \frac{\text{杂种一代 (F}_1\text{)} - \text{对照品种}}{\text{对照品种}}$$

$$\times 100$$

杂种一代有时候某些性状也会表现出不如双亲平均值的现象，这称为“负优势”。如果杂种一代具有超过双亲中较好亲本的优势，称为“超亲优势”。但是，要在生产上应用杂种优势，杂种一代的产量与品质不仅要超过较好的亲本，更重

要的是超过对照品种，即优于当地的推广良种，也就是杂种必须具有明显的“对照优势”。因此，在杂交种产量比较试验中，通常估算的杂种增产百分数，就是指对照优势。

二、杂种一代优势的表现

作物杂种一代的杂种优势是普遍存在的，优势的表现也是多方面的，不仅表现于外部形态，而且内部结构和生理生化等方面都可以表现优势。那么杂种一代的优势主要表现在哪几个方面？有哪些基本特点呢？

（一）产量 实践证明，主要作物杂种一代的产量优势是较大的。目前生产上大面积推广的杂交水稻，一般平均亩产可比水稻良种增产一百斤以上；玉米自交系间的杂交种，一般也可增产 20—30%；杂交高粱具有更强的杂种优势，可比当地推广品种增产 30—50%；棉花品种间杂交一代比其亲本平均增产 20—30%。海岛棉和陆地棉的种间杂交种，优势也十分显著，只要亲本选配适当，一般杂种的产量可接近、甚至高于陆地棉亲本，而纤维品质（长度、细度）可达到或超过海岛棉亲本；甘蓝型油菜品种间杂种一代比其亲本，也能增产 20—30%。还有西瓜和甜菜利用同源四倍体品种和正常二倍体品种杂交，产生三倍体种子，供生产上利用杂种优势。这种三倍体西瓜，既无种子含糖分又高，称为无子西瓜；同样，三倍体的甜菜含糖和产量均较高，且耐寒早熟。

然而作物单位面积产量与产量构成因素间有着密切的关系，不同作物其产量构成因素也不完全相同，各性状的优势

表现也不一。现将主要作物产量构成因素和表现杂种优势的主要性状列于表 1。

表 1 主要作物产量构成因素和杂种优势表现

作物名称	产 量 构 成 因 素	表现杂种优势的主要性状
水 稻	穗数、每穗粒数、粒重	每 穗 粒 数
小 麦	穗数、每穗粒数、粒重	粒重、穗数
玉 米	株数、每株穗数、粒重每穗粒数 (穗行数、行粒数)	行粒数、粒重
高 粱	穗数、穗重、粒重	穗重、粒重
棉 花	株数、单株铃数、铃重、衣分	单株铃数、铃重
油 菜	株数、每株有效分枝数、每分枝荚数、 每荚粒数、粒重	有效分枝数、荚 数

从表 1 可知，杂交水稻的产量优势主要依靠增加每穗粒数，所以杂交水稻能在较少穗数下，获得较高的产量。玉米单株产量的杂种优势，根据中国科学院遗传研究所的资料 (1972)，玉米行粒数的杂种优势为 29%，千粒重的杂种优势为 32%。杂交高粱的穗重和千粒重一般都表现出明显的杂种优势，并且与其恢复系的穗重、千粒重呈正相关，即父本穗重、千粒重高者，其杂种一代的穗重、千粒重也较高。棉花品种间杂交种，单株铃数和单铃重的杂种优势最为明显。陆地棉品种间杂种比其亲本单株桃数明显增加，单铃重也显著增大，一般较亲本增重 0.5—1 克，所以铃多和铃重是杂种棉花增产的两个主要因素。油菜的杂种优势，根据华中农学院对五个杂交油菜杂种优势测定结果， F_1 和亲本相比，平均有效分枝数增加 23%，有效荚数增加 41%。

由此可知，主要作物杂种一代的产量构成因素，在某些性状方面能表现出明显的杂种优势，但不是所有产量构成因素都能表现出明显的杂种优势，有的与其较好亲本相近，或为中间类型，甚至倾向于较差的亲本。我们了解不同作物表现杂种优势的主要性状，不仅有助于选配高产杂交组合，对于种好杂交种，充分发挥杂种的增产作用也是有积极意义的。

（二）生长势 杂种一代的生长势都比较强。杂种往往表现发芽快、分蘖力强、根系发达。

发芽快：湖南农学院测定南优2号及其亲本的发芽速度，以杂种南优2号最快。这是由于种子萌动后 α -淀粉酶活性不同所致。种子发芽后5天测定 α -淀粉酶活性，以南优2号最高。这表明杂种种子能较快地催化胚乳中淀粉进行水解，为种子发芽、生长提供能量和结构物质，使杂种发芽快。

分蘖力强：杂交水稻的分蘖力很强，无论在秧田和本田都超过亲本。广西农学院（1974）调查，南优2号、亲本及其对照品种（广选3号），在单本插（4×6寸），每亩2.5万苗的条件下，南优2号最高苗数达28.25万，比二九南1号、1R₂₄、广选3号每亩增加1.9—8.3万苗，平均单株分蘖数达10.3苗。杂交水稻分蘖强，且主茎和第一次分蘖成穗率可达70%以上。所以在杂交水稻栽培技术上要充分发挥杂交水稻分蘖力强的优势，合理地利用早期分蘖，夺取大穗，保证足穗。

根系发达，吸收力强：广西农学院测定南优2号的发根

力〔发根数×根长(厘米)/株〕为78.2；2号恢复系①为54.2；二九南1号为37.0。湖南农学院(1975)在幼穗分化期测定，南优2号的根群量(干重克/株)为1.66，恢复系为0.88。杂交水稻的发根力和根群量都显著超过亲本，表现根系发达。在根系活力方面，广东农作物杂种优势利用协作组(1977)测定，晚造齐穗期植株的伤流量(克/小时·株)②，汕优2号是3.64，南优2号是3.55，1R₂₄只有2.49，这表明杂种根系吸收能力强。由于杂种根系发达，吸收力强，对土壤理化性较差的低产田有较强的适应性，这是杂种能在不同土壤类型上获得增产的重要生理基础。

(三) 抗逆性 由于杂种一代在生长势方面具有较强的杂种优势，因此对外界不良环境的抵抗能力也比亲本强。玉米杂种一代比其亲本(自交系)在抗病性方面显著增强。玉米单交种新单1号抗玉米大斑病和病毒病的能力都显著增强。杂交高粱在抗旱、耐涝、耐盐碱等方面表现也很突出，人们称赞杂交高粱是“旱地的硬骨头”、“碱地之花”。四川农业科学院资料表明，油菜杂交种较其亲本抗病力平均增长21.06%。但是有些抗病性的遗传属多基因，具有数量遗传的特点，这样抗病系与感病系的杂种一代常呈中间型或倾向抗性亲本。

(四) 品质 杂种一代的品质不能说都比其亲本优越，

① 恢复系是“雄性不育恢复系”的简称，它与不育系杂交，能使子代恢复为雄性可育，因此，利用杂种优势配制杂交种时，用作父本。详见第三节关于“三系”的解释。

② 水稻伤流量是指将一株灌水充足的植株，在靠近地面处的茎部切断，切面上就流出汁液，此汁液即为伤流量。测定水稻伤流量可以了解水稻根系活动的强弱，而水稻根系的机能又与地上部分的性状密切相关。

但也有一定的杂种优势。浙江农业大学(1964)用7个陆地棉品种与4个海岛棉品种,选配了14个陆海杂交组合,其14个陆海杂种一代的平均绒长为37.11毫米,细度为7,763米/克;而7个陆地棉品种的平均绒长为30毫米,细度为5,916米/克;4个海岛棉品种的平均绒长为36.05毫米,细度为7,337米/克。杂种的绒长和细度均超过陆地棉亲本,甚至超过海岛棉亲本,但纤维强度杂种不及海岛棉亲本。中国科学院油料研究所测定72个杂交组合油菜的含油率,杂种平均较亲本增加6.3%,最高增加可达19.4%。杂交小麦的子粒品质,从杂种一代所结的种子,在遗传性上已属 F_2 (杂种二代)世代,当双亲品质的遗传性差异越大,则 F_2 分离程度也越大。这里说的杂交小麦子粒的品质,是指 F_1 群体所结种子品质的总体而言。根据河北师范大学(1974)分析了11个杂种子粒的蛋白质含量,其中8个杂种超过双亲,有2个杂种介于双亲之间,仅有1个杂种低于双亲。这说明杂交小麦的子粒,在蛋白质含量上也有一定的优势。此外,有关杂交小麦的研究结果还表明,产量与蛋白质含量之间存在着正相关,而在常规小麦品种中往往存在着弱的负相关。因此,通过常规育种途径选育一个产量高、蛋白质含量也高的品种是比较困难的,而通过杂种优势利用的途径来选配一个产量高、蛋白质含量也高的杂种却较有希望。

综上所述,杂种一代的优势表现是多方面的,而且是很复杂的。但归结起来,杂种一代的优势表现有以下几个基本特点:

第一,杂种优势是许多性状优势的综合表现。水稻、小

麦、玉米、高粱的杂种一代，在产量和品质上表现为穗多、粒多、粒重、蛋白质含量高等；在生长势上表现为植株高、发芽快、根系发达、分蘖力强等；在抗逆性上表现为抗病、抗旱、耐盐、耐瘠等。这说明杂种一代的优势表现，不是某一二个性状的突出表现，而是许多性状的综合表现。这也说明杂种优势的产生是由于双亲基因型的杂合性^①和综合作用的结果。

第二，杂种优势程度的大小，多数取决于双亲性状间的相对差异和有利遗传性状的互补状况。实践表明，在一定范围内，双亲间的血缘关系、生态类型和生理特性上差异越大，双亲间的相对性状的优缺点越能彼此互补的，其杂种优势就越强，反之就较弱。例如：玉米用不同类型的两个亲本马齿型和硬粒型杂交，表现的杂种优势比同类型的亲本间杂交要大。同样采用地理上远距离的自交系作亲本杂交，常能产生丰产性好的杂交种。目前生产上推广的玉米单交种，中单2号（MO17×330）、豫单5号（MO17×风可1）等均是外国系与本国系杂交而成。近年来选配的一些优良杂交种如丹玉6号（旅₂₈×330）、豫农704（二南₂₄×矮金525）、郑单2号（塘四平头×获白）等，也是采用彼此亲缘关系较远的优良自交系杂交而成。选育杂交高粱的实践也证明，要选用亲缘较远、类型不同的作亲本，容易获得具有强优势的杂交种。如生产上广泛利用的晋杂5号，其组合是3197A（南非高粱类型）与三尺三（中国高粱类型）。

^① 基因型又叫“遗传型”，即生物性状遗传物质的组成状况。两个遗传型相同的配子结合，称为“纯合”。两个遗传型不同的配子结合，称为“杂合”。

第三，杂种优势的大小与双亲遗传组成的高度纯合有密切的关系。生产上利用杂种优势是利用杂种群体的优势，只有在双亲遗传组成纯合程度很高时，杂种一代群体的遗传组成才具有整齐一致的杂合性，这样才能表现出明显的杂种优势。大家都知道，玉米自交系间杂种优势所以比品种间杂种优势强，就是因为自交系是通过连续自交和选择具有纯合的遗传组成。这就是说，杂种优势不仅要求双亲基因型具有互补作用，而且还应具有高度的纯合性。所以在选育“三系”材料或化学杀雄制种时，都要高度重视不育系和恢复系的纯度，都要做好化学杀雄父、母本种子的保纯工作，并在制种时严格做好隔离，防止生物学混杂，以提高杂种的纯度。

第四，杂种优势的强弱与外界环境条件的作用也有密切的关系。杂种所以能够表现出优势，实际上是杂种的基因型与外界环境条件综合相互作用的结果。不同的环境条件对于杂种优势表现的强度必然存在着差异。这就要根据杂种的特性，采取相应的栽培技术，实行良种良法，使杂种发挥应有的增产作用。

三、杂种二代优势的衰退

杂种一代不仅表现性状整齐一致，而且杂种优势也最强。但是，杂种一代自交产生的杂种二代群体，必然出现性状分离，优势衰退。这又是什么原因呢？

我们知道，由两个基因型纯合的亲本杂交得到杂种一代，其基因型是高度杂合的，根据性状遗传的基本规律，杂合体

通过自交必然导致基因的重组和性状的分离，并使后代群体中遗传组成迅速趋于纯合化，杂种优势也随之衰退。现以一对基因为例，说明自交纯合化的过程（图 1）。

世代	自交代数	基因型的变化		杂合个体% (Aa)	纯合个体% (AA+aa)
F ₁	0	Aa		100	0
F ₂	1	1AA	2Aa 1aa	50	50
F ₃	2	6AA	4Aa 6aa	25	75
F ₄	3	28AA	8Aa 28aa	12.5	87.5
F ₅	4	120AA	16Aa 120aa	6.25	93.75
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
F _{r+1}	r	AA	aa	$1/2^r \rightarrow 0$	$1 - 1/2^r \rightarrow 100$

图 1 杂合子 Aa 连续自交后代基因型纯合化过程

从图 1 说明一对异质基因 (Aa) 的自交纯合化过程。 $AA \times aa \rightarrow Aa$ ，所以 F₁ 是 100% 杂合个体。F₁ 自交产生 F₂，将分离出 1AA : 2Aa : 1aa，因而在 F₂ 群体中就有 50% 是杂合个体 (Aa)，50% 是纯合个体属 AA 和 aa 类型。若继续自交，纯合的个体只能产生纯合的后代，而杂合的个体又产生二分之一纯合的后代，假定各基因型后代的繁殖力相同的话，这样连续自交，它们的后代很快趋于纯合化。

自交后代纯合体增加的速度，研究表明，决定于异质基因的对数和自交代数。纯合百分率可按下列公式估算：

$$\text{纯合百分率 (\%)} = \left(1 - \frac{1}{2^n}\right)^r \times 100$$

n 为与性状有关的异质基因对数；r 为自交代数

但在应用上述公式时必须符合两个条件：一是 n 对基因均