

全国农业专业学位研究生教育指导委员会推荐教材



Principle and Case Analysis of Crop Breeding

作物育种理论与案例分析

主 编 孙其信

副主编 李保云 倪中福 尤明山



科学出版社

全国农业专业学位研究生教育指导委员会推荐教材

作物育种理论与案例分析

Principle and Case Analysis of Crop Breeding

主 编 孙其信

副主编 李保云 倪中福 尤明山

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从作物遗传改良的原理出发,以近 20 年来获国家科学技术进步奖的作物品种的选育为案例,从品种特性、亲本选配、选育过程、选育理念、推广前景等方面进行分析。其中涉及的育种方法主要有杂交育种、回交育种、远缘杂交、单倍体育种、轮回选择、杂种优势利用、生物技术辅助育种等,是作物育种理论联系实践的很好典范。

本书可作为全国高等农业及相关院校农学学科专业硕士研究生的“作物育种案例分析”教材,也可作为本科生“作物育种学”的补充教材,还可作为相关科研院所作物遗传育种者的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

作物育种理论与案例分析/孙其信主编. —北京:科学出版社,2016.6
ISBN 978-7-03-048537-3

I. ①作… II. ①孙… III. ①作物育种 IV. ①S33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 123157 号

责任编辑:李秀伟 岳漫宇 / 责任校对:刘亚琦
责任印制:张 伟 / 封面设计:北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 6 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2016 年 6 月第一次印刷 印张: 12 1/4

字数: 242 000

定价: 75.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《作物育种理论与案例分析》编委会名单

主 编	孙其信	中国农业大学
副主编	李保云	中国农业大学
	倪中福	中国农业大学
	尤明山	中国农业大学
审 稿	刘广田	中国农业大学

案例撰稿人

- 小麦品种‘农大211’的选育.....中国农业大学, 尤明山, 李保云
- 小麦品种‘百农矮抗58’的选育.....河南科技学院, 茹振钢, 胡铁柱
- 小麦品种‘洛麦23’的选育.....洛阳农林科学院, 张灿军,
高海涛, 余四平
- ‘内麦’系列品种的选育.....四川省内江市农业科学院,
黄辉跃, 王相权
- 小麦品种‘金禾9123’的选育.....河北省农林科学院遗传生理研
究所, 王海波, 赵和
- 小麦品种‘农大1108’的选育.....中国农业大学, 刘志勇
- 玉米杂交种‘农大108’的选育.....中国农业大学许启凤, 张旭
- 玉米杂交种‘郑单958’的选育.....河南省农业科学研究院, 朱卫红
- 耐密型玉米杂交种‘辽单565’的选育.....辽宁省农业科学院, 王延波
- 杂交油菜‘秦优7号’的选育.....陕西省杂交油菜研究中心,
李殿荣
- 异花授粉作物的轮回选择.....中国农业大学, 陈绍江
- ‘矮败小麦’育种技术体系的建立与应用.....中国农业科学院, 刘秉华, 杨丽
- 玉米单倍体育种.....中国农业大学, 陈绍江
- 小麦单倍体育种—‘花培5号’的选育.....河南省农业科学研究院, 海燕,
康明辉
- 小麦-簇毛麦6VS/6AL易位系在小麦育种中的应用.....南京农业大学, 陈佩度
- 转基因抗虫杂交棉—‘鲁棉研15号’.....山东棉花研究中心, 李汝忠,
韩宗福
- 甘薯体细胞杂交方法创制甘薯育种新材料.....中国农业大学, 翟红

前 言

自新中国成立以来，特别是自改革开放以来，我国作物育种工作取得了世界瞩目的巨大成就。但是，如何培养一大批既掌握现代育种理论又懂得作物育种技术的新型人才，是当前我国，也是世界作物育种教育的迫切需求。为了加强和改进作物育种专业育种技术方面的应用性教育和满足作物学科专业硕士的培养要求，我们组织编写了《作物育种理论与案例分析》教材。

《作物育种理论与案例分析》是一本在我国农业生产上有影响力的农作物品种培育案例分析的教材。本书以作物育种原理和育种方法为主线，内容包括：作物育种群体及遗传分析群体；作物杂交育种的理论基础及其育种案例分析；作物回交育种的理论基础及其育种案例分析；作物杂种优势的理论基础及其育种案例分析；轮回选择的理论基础及其育种案例分析；单倍体育种的理论基础及其育种案例分析；远缘杂交的理论基础及其育种案例分析；分子生物学技术及其育种案例分析。根据所选品种培育过程中所用育种方法的特点，将所选 19 个作物品种的选育案例和 3 个育种材料的创新案例分别穿插在不同章节，方便读者学习和借鉴。

本书涉及的 19 个作物品种均为我国农业生产主产区的主推品种或未来可能大面积推广的品种，其中 4 个品种曾获国家科学技术进步奖一等奖，即小麦品种‘矮抗 58’、小麦品种‘轮选 987’、玉米杂交种‘农大 108’、玉米杂交种‘郑单 958’；14 个曾获国家科学技术进步奖二等奖，即玉米杂交种‘辽单 565’，杂交油菜‘秦优 7 号’、‘内麦’系列品种、‘洛麦 23’、‘石麦 15’，棉花品种‘鲁棉研 15 号’等；2 个曾获国家技术发明奖二等奖，即小麦-簇毛麦远缘杂交、高油玉米。这些案例的撰稿人大部分是成果的第一完成人或品种的选育者，他们从品种特性、亲本选配、选育过程、选育理念、推广前景等方面进行分析，深入剖析这些品种的育种过程或育种技术的应用效果，为今后相关作物育种、科研和教学单位提供有益的经验 and 切实的指导作用。通过本教材的学习，读者可全面了解作物品种的选育过程，学会应用作物育种学基本原理和方法解决育种实践中的问题，提高理论联系实际的能力。

编 者

2015 年 12 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 作物育种目标	1
一、高产	2
二、优质	6
三、稳产	6
四、适宜的生育期	7
五、适应农业机械化要求	7
第二节 主要作物育种成就	8
一、矮秆、耐肥、高产作物品种的培育和推广	8
二、杂交水稻的选育与推广	9
三、杂交玉米的推广利用	11
四、抗虫棉的推广利用	12
五、作物育种方法和技术的综合应用	13
第三节 主要作物育种展望	14
一、进一步加强作物种质资源工作	14
二、积极开展作物育种理论与方法的研究	14
三、加强育种单位间的协作	15
主要参考文献	15
第二章 作物育种群体及遗传分析群体	16
第一节 作物育种群体	16
一、纯系(自交系)品种	16
二、杂交种品种	20
三、群体品种	20
四、无性系品种	22
第二节 作物遗传作图群体	23
一、初级作图群体	24
二、次级作图群体	25
三、高级作图群体	27
主要参考文献	30

第三章 作物杂交育种的理论基础及其育种案例分析	31
第一节 作物杂交育种的理论基础	31
一、基因重组	31
二、基因累加	32
三、基因互作	32
第二节 小麦品种‘农大211’的选育	33
一、‘农大211’的特征特性	34
二、‘农大211’的组合配制年代和选育过程	34
三、‘农大211’的育种理念	35
四、‘农大211’的推广前景	36
第三节 小麦品种‘百农矮抗58’的选育	37
一、‘矮抗58’的特征特性	37
二、‘矮抗58’的组合配制年代和选育过程	39
三、‘矮抗58’的育种理念	40
四、‘矮抗58’的推广前景	42
第四节 小麦品种‘洛麦23’的选育	42
一、‘洛麦23’的特征特性	43
二、‘洛麦23’的组合配制年代和选育过程	44
三、‘洛麦23’的育种理念	44
四、‘洛麦23’的推广前景	45
第五节 ‘内麦’系列品种的选育	45
一、品种简介	46
二、‘内麦8号’、‘内麦9号’、‘内麦10号’、‘内麦11’、‘内麦836’ 的组合配制和选育过程	50
三、‘内麦8号’、‘内麦9号’、‘内麦10号’、‘内麦11’、‘内麦836’ 的系谱	52
四、‘内麦’系列品种的育种理念	52
五、‘内麦’系列品种的推广成果	54
主要参考文献	55
第四章 作物回交育种的理论基础及其育种案例分析	56
第一节 作物回交育种的理论基础	56
一、回交群体中纯合基因型比例	56
二、回交群体中轮回亲本基因回复频率	57
三、回交消除不利基因连锁的概率	57
第二节 作物回交后代的选择方法	59

一、显性单基因控制性状的回交转育	59
二、隐性单基因控制性状的回交转育	59
三、数量性状的回交转育	62
第三节 小麦品种‘金禾 9123’的选育	63
一、‘金禾 9123’的特征特性	63
二、‘金禾 9123’的组合配制和选育过程	64
三、‘金禾 9123’的育种理念与体会	66
四、‘金禾 9123’的推广前景	66
第四节 小麦品种‘农大 1108’的选育	67
一、‘农大 1108’的特征特性	68
二、‘农大 1108’的组合配制年代和选育过程	69
三、‘农大 1108’的育种理念	69
四、‘农大 1108’的推广前景	71
第五节 胚乳性状的回交转育	71
一、小麦高分子质量谷蛋白亚基的回交转育	72
二、甜玉米的回交转育	73
三、糯玉米的回交转育	74
第六节 雄性不育性状的回交转育	75
水稻野败雄性不育的回交转育	75
主要参考文献	77
第五章 作物杂种优势的理论基础及其育种案例分析	78
第一节 作物杂种优势的形成机制	78
一、杂种优势产生的原因	78
二、基因差异表达与杂种优势	81
第二节 作物杂种优势利用方法和途径	81
一、作物杂种优势利用必需的基本条件	81
二、不同繁殖方式作物杂种优势利用的特点	82
第三节 玉米杂交种‘农大 108’的选育	83
一、‘农大 108’培育过程	83
二、‘农大 108’培育过程中的创新点	85
第四节 玉米杂交种‘郑单 958’的选育	85
一、‘郑单 958’的特征特性	86
二、‘郑单 958’的组合配制和选育过程	86
三、‘郑单 958’的选育理念	88
四、‘郑单 958’的推广前景	89

第五节 耐密型玉米杂交种‘辽单 565’的选育	90
一、品种来源和选育过程	90
二、‘辽单 565’的特征特性	91
三、‘辽单 565’产量表现	93
四、与国内外同类品种比较	94
五、成果创新点	94
第六节 杂交水稻的利用	95
一、“三系”及其利用	95
二、选育“三系”水稻的方法	97
三、两用核雄性不育系的选育和研究	98
四、一系法杂交制种的设想	98
第七节 杂交油菜‘秦优 7 号’的选育	101
一、‘秦优 7 号’的特征特性	101
二、‘秦优 7 号’的组合配制年代和选育过程	102
三、‘秦优 7 号’的育种理念	104
四、‘秦优 7 号’的推广应用	106
附：杂交油菜‘秦优 7 号’的雄性不育“三系”	107
一、细胞质雄性不育系‘陕 3A’	107
二、细胞质雄性不育保持系‘陕 3B’	108
三、细胞质雄性不育恢复系‘K407’	109
主要参考文献	112
第六章 轮回选择的理论基础及其育种案例分析	113
第一节 轮回选择的理论基础	113
一、Hardy-Weinberg 定律	113
二、选择和基因重组是群体进化的主要动力	113
第二节 异花授粉作物的轮回选择	114
轮回选择用于高油玉米群体改良	114
第三节 “矮败小麦”育种技术体系的建立与应用	117
一、太谷核不育小麦	117
二、‘矮败小麦’	125
三、‘矮败小麦’轮回选择技术体系	127
四、‘矮败小麦’在小麦育种中的利用	131
主要参考文献	133
第七章 单倍体育种的理论基础及其育种案例分析	134
第一节 单倍体形成机制	134

一、单倍体的产生	134
二、单倍体的类型	135
三、单倍体产生的途径和方法	135
四、单倍体二倍化	138
第二节 玉米单倍体育种	138
一、玉米单倍体的诱导	138
二、玉米单倍体的鉴定	140
三、玉米单倍体筛选的自动化	142
四、玉米单倍体加倍方法	142
五、玉米单倍体育种中的其他问题	145
六、玉米单倍体育种程序	146
第三节 小麦单倍体育种——‘花培5号’的选育	147
一、育种目标	147
二、小麦单倍体育种程序	148
三、‘花培5号’的选育过程	148
主要参考文献	150
第八章 远缘杂交的理论基础及其育种案例分析	151
第一节 远缘杂交的理论基础	151
一、完全异源双二倍体	151
二、不完全异源双二倍体	152
三、异染色体体系	152
四、单倍体	153
五、雄性不育材料	154
第二节 小黑麦的选育	154
小黑麦的培育	154
第三节 小麦-簇毛麦 6VS/6AL 易位系在小麦育种中的应用	157
主要参考文献	160
第九章 分子生物学技术及其育种案例分析	161
第一节 分子生物学技术辅助育种的理论基础	161
一、作物细胞工程辅助育种的理论基础	161
二、作物转基因技术	162
三、分子标记辅助选择育种	164
第二节 转基因抗虫杂交棉——‘鲁棉研15号’	168
一、‘鲁棉研15号’的特征特性	168
二、‘鲁棉研15号’的选育过程	169

三、‘鲁棉研 15 号’ 的选育经过.....	170
四、‘鲁棉研 15 号’ 的育种理念.....	171
五、‘鲁棉研 15 号’ 的推广前景.....	172
第三节 甘薯体细胞杂交方法创制甘薯育种新材料.....	173
一、原生质体融合.....	173
二、融合原生质体培养及植株再生.....	176
三、再生植株的杂种性鉴定.....	176
四、体细胞杂种植株的形态鉴定.....	176
五、体细胞杂种植株的抗旱性鉴定.....	176
六、体细胞杂种薯块的产量与品质鉴定.....	177
主要参考文献.....	179

第一章 绪 论

现代作物育种工作是在一定的科学理论指导下进行的有计划、有目的的科学实践活动。从其遗传学本质来说,作物育种学是改变作物遗传特性以提高其经济性状的艺术与科学;从其性质来说,作物育种学是一门人工选择(artificial selection)与自然选择(natural selection)相结合的人工进化(artificial evolution)的科学。

农业生产的一个最大特点是采用现代高产、优质、稳产的优良品种(improved variety)。从作物的生产构成成本来看,优良品种的成本投入只占农业生产总投入的5%~10%;而在农业生产的贡献因素(水、肥料、农药和品种)中,优良品种的贡献占30%~60%,且越发达区域,优良品种的贡献越大,如在美国的玉米生产中,优良品种的贡献达到80%以上;而在中国,平均只有30%左右。

预计到2030年,中国的粮食单产要在现有基础上提高40%~50%,即每年粮食单产要增加2%~2.5%,才能满足中国消费者对粮食的基本需求(7.2亿t),这对作物育种工作来说是一个很大的挑战。

作物育种工作总体来说是一个人工创造变异、选择变异、稳定变异的过程。其中变异是选择的基础,遗传是选择的保证,选择是淘汰不良变异、积累优良变异的手段。

现代作物育种工作中的每一项活动都有坚实的科学基础。遗传学揭示了作物性状的遗传变异规律,育种家可以通过基因重组创制新的遗传变异,可以通过基因突变获得新的基因,甚至可以通过操作染色体数目的变化产生新的作物。

总之,作物育种学是以进化论、遗传学为基础的综合应用科学。此外,还涉及多门其他学科,如植物学、植物生理学、生物化学、植物病理学、农业昆虫学、农业气象学、生物统计与实验设计、分子生物学、计算机科学等。

第一节 作物育种目标

作物育种目标(breeding objective)是选育作物优良品种的设计蓝图,是对选育的优良品种应具备哪些优良性状的具体要求。作物育种工作中的一系列具体操作,如有目的地搜集作物品种资源,有计划地选择亲本和配置组合,确定选择标准、鉴定方法和培育条件等,都是围绕明确而具体的作物育种目标开展的。因此,作物育种目标的正确与否是决定作物育种工作成败的关键。

就目前我国农业生产现状而言，作物育种的总体目标包括高产、优质、稳产（抗多种生物逆境、非生物逆境和适应性广）、适宜的生育期，这也是现代农业对作物优良品种的要求。随着农业现代化的发展，作物优良品种还要能适应农业机械化作业的要求。

一、高产

高产（high yield）是现代对作物优良品种的基本要求，随着全球人口数量持续增加，耕地面积不断减少，培育具有高产潜力的作物优良品种将一直是作物育种的主要目标。

为了提高作物优良品种的产量潜力，作物育种工作中需要关注以下几方面的问题。

1. 产量因素的合理组合

作物产量是按单位土地面积上的产品数量计算的，是由单位面积上的株数和单株产量构成的。作物种类不同，其产量构成因素也有差异，主要表现在单株产量的组成上。作物各个产量因素的乘积便构成作物理论产量。不同作物产量构成因素详见表 1-1。

表 1-1 不同作物产量构成因素（王璞，2004）

作物种类	代表作物	产量构成因素
禾谷类	水稻，小麦，玉米，高粱等	每亩穗数，每穗实粒数，粒重
豆类	大豆，绿豆等	每亩株数，每株有效荚数，每荚实粒数，粒重
薯类	山芋，马铃薯，甘薯	每亩株数，每株薯块数，单薯重
棉类	棉花	每亩株数，每株有效铃数，每铃籽棉重，衣分
油菜	油菜	每亩株数，每株有效分枝数，每分枝有效角果数，每角果粒数，粒重
烟草	烟草	每亩株数，每株叶数，单叶重
麻类	黄麻，大麻，洋麻	每亩株数，每株重，出麻率
甘蔗	甘蔗	每亩茎数，单株茎重
绿肥	苜蓿，紫云英	每亩株数，单株鲜重

在其他因素不变的条件下，提高其中的一个或两个因素，或几个因素同时提高，均可提高单位面积的作物产量水平。但是，实际上作物某些产量因素之间常呈负相关，即一个因素的提高会导致另一因素的下降。因此，作物高产的关键是各种产量因素的合理组合，从而得到产量因素的最大乘积。

在制定作物育种目标时，应在充分分析现有作物品种产量构成因素的基础上，

找出决定产量的关键因素，围绕关键因素进行遗传改良，实现产量突破。例如，在北方寒冷干旱地区，小麦单位面积成穗数是决定高产的主要因素，因此要求选育耐寒性好、分蘖力强、成穗率高的多穗型品种；在温暖湿润地区，要求选育穗粒数多和穗重高的大穗型品种。在稳产的基础上要进一步高产时，可在一定穗数基础上，同步增加穗粒数和粒重，选育中间型品种。近年来，对玉米改变了过去只追求大穗、大粒的做法，选育出了紧凑型耐密植的玉米杂交种，通过提高单位面积穗数实现了产量的大幅度提高。

2. 合理的源、流、库关系

作物产量是光合同化物转化和贮藏的结果。作物高产品种主要表现在不仅同化物多，转运能力强，而且贮藏器官充足。这就是所谓的“源、流、库”学说，或称“源、流、库协调”学说。

源是指作物光合产物供给源或代谢源，即制造和提供养料的器官或组织，它包括作物的功能叶，绿色的茎秆、叶鞘、穗轴、芒、角果及子叶，种皮、胚乳等其他非绿色器官。对作物品种而言，其个体和群体的叶面积大，光合效率高，才能使源充足。

库是指作物产品器官的容积和接纳营养物质的器官（或能力），如作物的根、茎、幼叶、花、果实及发育的种子等，包括代谢库和贮藏库。代谢库是指大部分输入的同化物被用来进行组织细胞的构建和呼吸消耗的器官，如生长中的根尖和幼叶等。贮藏库是指大部分输入的同化物被用来贮藏的组织和器官，如禾谷类作物的籽粒，棉花的铃及籽棉，甜菜的块根，薯类作物的块根、块茎等。

库容量随不同作物种类而异，如禾谷类作物的库容量是指单位面积上的穗数、每穗颖花数和籽粒大小的上限值，薯类作物库容量取决于单位面积上的块茎（或块根）和薯块大小的上限值。

库接纳营养物质的贮藏能力也因作物不同而异，禾谷类作物取决于灌浆期的长短和灌浆速度的快慢。有人认为，未来实现玉米超高产目标的关键在于提高玉米灌浆期籽粒的生产潜力，灌浆期和灌浆速度必须相互补偿才能实现。

流是指作物控制养料运输的根、叶、鞘、茎中的维管束系统。其中穗颈维管束可看作源通往库的流通道。韧皮部是同化物运输的通道，其输导组织的发达程度，是影响同化物运输的重要因素。

从源与库的关系看，源是产量库形成和充实的物质基础。从源、库与流的关系看，库、源大小对流的方向、速率、数量都有明显的影响，起着“拉力”和“推力”的作用。源、流、库在作物代谢活动和产量形成中构成统一的整体，三者的平衡发展状况决定作物产量的高低。

目前稻麦等作物的一些矮秆品种一般比高秆品种高产，其原因之一就在于矮

秆品种的同化产物转运分配到穗部的比例大，收获指数高，如水稻高秆品种的谷草比为 1 : (1.2~1.5)；矮秆品种的谷草比为 1 : (0.8~1.0)。总之，作物同化产物的运输和分配对作物产量高低的影响是很大的。

3. 理想株型

作物株型一般分为叶型、茎型、穗型和根型等。叶型和茎型明显影响田间作物群体结构状况和小气候，进而影响作物产量，因此作物育种家对株型的观测着重于作物的叶型和茎型。例如，玉米从株型上可分成两大类型，平展型玉米和紧凑型玉米。平展型玉米，叶片平展，外伸广阔，每个单株都占据了较大的面积，一般种植密度在 3000~3500 株/亩^①，其中下部叶片尚能得到足够的光照，保证可正常生长发育至成熟，最高产量可达到 600kg/亩。如果进一步增加种植密度，会导致中下部叶片受光不足，光合作用效能降低，总产量不但不会增加，反而还要降低。紧凑型玉米，株型十分紧凑，上部叶片向上挺举，中下部叶片较平展，单株所占面积比平展型玉米小，种植密度可达 4000~4500 株/亩，有的甚至达到 6000~7000 株/亩以上，而单株产量不比平展型玉米差，从而保证了玉米的产量。李登海在近 1hm² 试验地上种植‘掖单 12 号’、‘掖单 13 号’两个紧凑型玉米品种，经验收亩产为 1008kg，创造了中国夏玉米的最高产量。可见，株型的不同对作物产量至关重要。

株型改良的一个重要内容和主要突破口是矮化育种。株高过高的作物品种在群体密度较大时会因肥水较高而发生倒伏。倒伏常带来严重的后果，包括降低产量、降低品质、影响机械收获等。与高秆品种相比，矮秆品种表现出较强的抗倒伏能力，可加大作物种植密度，增加单位面积株数，提高肥料利用效率，而且矮秆品种的经济系数较高，往往具有更高的产量潜力。但是，矮化不是越矮越好，需要通过研究确定适宜的株高。近年来，作物矮化育种的成果使得水稻品种的株高降到 90~100cm，小麦品种的株高降到 70~90cm，玉米品种的株高降到 120~150cm，高粱品种的株高降到 120~160cm 等。

理想株型是高产品种的形态特征。尽管不同作物所要求的理想株型不完全相同，但多涉及株高、叶形、叶姿、叶色、叶片的分布及分蘖和主茎的关系、穗子的长相等。理想株型育种的目的是把理想的性状结合在一个植株上，以获得最有效的光能利用率和最大限度的光合产物转运和贮藏能力。禾谷类作物的理想株型是矮秆、半矮秆，株型紧凑，叶片挺直、窄短，叶色较深等。棉花的理想株型是株型紧凑，主茎和果枝的节间短，果枝与主茎的角度小，叶片大小适中，着生直立等。

自 Donald (1968) 提出理想株型概念后，国内外许多学者探讨了不同作物的

^① 1 亩≈666.67m²

理想株型及株型指标。研究表明，茎型，即节间长度及其空间分布直接影响叶片的空间分布和作物的抗倒伏能力。20世纪中期，“绿色革命”利用“矮化基因”使得小麦耐肥、抗倒伏性增加，植株矮化，产量潜力大幅度提高。但在降低株高的同时，冠层内叶片的空间分布被压缩，叶面积密度增大，群体通风透光不畅，易发病虫害，进而造成减产。国内外学者对小麦株型指标及其与基因型、环境的关系进行了广泛深入的研究。与此同时，叶型，即叶片形态及其空间分布也备受关注。研究表明，叶面积、叶倾角及其垂直分布是影响冠层光分布的重要因素，因此叶型成为表征冠层结构与功能的重要指标（张文字等，2012）。

国际水稻研究所推出具有理想株型，可发挥较大经济、社会和生态效益的水稻品种。该品种具有以下优点：一是具有理想株型。①分蘖少，只有6~10个分蘖，但都是有效分蘖，且穗大，每穗籽粒200~250粒；②茎秆粗壮坚硬，根系发达，可支持和承重，不易倒伏；③叶片厚而挺拔，叶色深绿，可充分吸收和利用阳光，叶片的光合作用效率比高产品种‘国际稻 IR72’高10%~15%。二是稻株生物量和谷草比高。稻株生物量达21t/hm²，其中60%为稻谷，40%为稻草；而传统水稻品种的生物量仅为10t/hm²，其中3t为稻谷，7t为稻草；现代高产水稻品种的生物量也只有20t/hm²，其中稻谷和稻草各10t，谷草比为50:50。三是稻谷单产高。单产高达12.5t/hm²，在相同的土、肥、水条件下，比高产水稻品种的产量10t/hm²高出25%。若普遍种植，可使水稻年增产1亿t以上。按照以稻米为主食的亚洲国家人年均消费200kg计算，这部分增产的稻米至少可为4.5亿人提供年需口粮。四是适于密植，株冠繁茂（汪开治，1996）。

4. 高光效

作物一生所形成的全部干物质中，90%~95%是由光合作用通过碳素同化过程所生产的，而通过吸收土壤中各种养分所构成的干物质只占5%~10%。从生理学上分析，作物的产量可分解为：经济产量=生物产量×收获指数=净光合产物×收获指数=（光合强度×光合面积×光合时间-呼吸消耗）×收获指数。由此可见，从光效率角度来看，光合作用的面积、能力（强度）、时间和光合产物的消耗4个方面是决定作物产量的主要因素。高产作物品种应该具有光合能力较高、呼吸消耗较低、光合机能保持时间长、叶面积指数大和收获指数高等特点。

20世纪60年代的“绿色革命”时期，主要粮食作物小麦和水稻的矮秆和半矮秆品种选育，为解决当时的粮食安全问题作出了很大的贡献。作物矮化育种使作物群体的叶面积指数和收获指数有了很大提高，再继续提高潜力的可能性不大。而且随着群体加大，叶面积指数增加，作物群体郁蔽，茎秆细弱，会发生倒伏，并易受病虫害侵染。虽然通过提高叶面积指数和收获指数还可使产量有所提高，但潜力似乎已经不大了。因此，作物品种的进一步遗传改良应以提高光能利用率