

# 绪 论

## 第一节 作物育种学的概念与内容

### 一、作物育种学的概念

作物育种学 (principle of crop breeding) 是一门研究选育、繁殖与利用农作物优良品种的理论和方法的学科。该学科以遗传学、生态学和进化论为基础理论, 综合应用植物学、植物生理与生物化学、植物病理学、农业昆虫学、农业气象学、土壤学、田间试验与生物统计、生物技术、农产品加工学、种子学和农业经济学等多学科领域的基本理论知识, 采用各种先进的技术, 有针对性、有预见性地选育农作物新品种。

作物育种学和作物栽培学关系密切, 是农作物生产中的两个主要学科, 两者联系紧密, 不可或缺。作物育种学侧重于从内在遗传特性上改良农作物, 使之具备高产、优质、多抗等生产潜力; 作物栽培学则侧重于探讨改善农作物的外在生长环境, 使其高产、优质、多抗等生产潜力尽可能得到充分的表现。

### 二、作物育种学的任务与内容

#### 1. 作物育种学的任务

作物育种学的基本任务是创新作物育种理论和育种技术。在研究和掌握作物农艺性状、经济性状遗传变异规律的基础上, 根据本地区的育种目标和原有品种的基础, 发掘、研究和利用各种农作物种质资源, 采用适当的育种途径和方法, 选育适于该地区生态、生产条件, 符合生产发展需要的高产、稳产、优质、高抗 (抗逆、抗倒伏)、熟期适当和适应性广的优良品种, 甚至新的作物, 并通过行之有效的繁育措施, 在繁殖、推广过程中, 保持并提高种性, 提供足量优质、成本低的生产用种, 实现生产用种良种化, 种子质量标准化, 促进高产、优质、高效农业的可持续发展。

#### 2. 作物育种学的内容

作物育种学的主要内容有: 育种目标的制订及实现目标的相应策略; 种质资源的搜集、保存、研究评价、利用和创新; 作物繁殖方式及其与育种的关系; 选择的理论与方法; 人工创造变异的途径、方法和技术; 杂种优势利用的途径和方法; 育种目标性状的遗传、鉴定及选育方法; 作物育种不同阶段的田间试验技术; 新品种的审定、推广与良种繁育等。

### 三、作物品种的概念及其在农业生产中的作用

选育作物品种是作物育种学的基本任务之一。作物品种 (cultivar) 是指在一定的

生态条件和经济条件下, 根据人类的需要所选育的某种作物的特定栽培群体; 该群体具有相对稳定的遗传特性, 在生物学、形态学及经济性状上相对一致, 与同一种栽培作物的其他育种群体在特征上有所区别; 在相应地区和耕作条件下种植, 产量、抗性、品质等方面都符合生产发展需要。

作物品种的概念包含了三个方面的含义: ①作物品种是育种的产物, 是不同育种家或育种单位根据相应区域的生态条件和经济条件实际对作物进行遗传改良的结果。相应地, 选育出的每个作物品种都有其相适应的地区范围和耕作栽培条件, 而且都只能在某一段历史时期推广应用, 即作物品种一般都具有区域性和时间性。随着耕作条件、生态条件的改变, 农业结构的调整, 经济水平的发展, 生活水平的提高等, 对品种的要求也会相应提高, 因此必须不断选育新的优良品种替换原有品种。②作物品种一般都具有特异性 (distinctness)、一致性 (uniformity) 和稳定性 (stability) 三个基本要求或属性, 简称 DUS。特异性是指该品种具有一个或多个不同于其他品种的形态、生理等特征; 一致性是指该品种个体间植株性状和产品主要经济性状整齐一致; 稳定性是指遗传上的相对稳定性, 要求该品种在繁殖过程中能保持特异性和一致性不变。③作物品种作为一种重要的农业生产资料, 其产量、品质、抗性等必须符合生产实践的需要, 否则没有直接利用的价值, 不能称为品种。

另外, 有学者提出将优异性 (elite) 和适应性 (adaptability) 加入品种的属性, 则品种的属性包括五个方面, 简称 EADUS。实际上, 上述的品种三个方面含义也反映了品种的优异性和适应性, 品种具有生产利用价值反映了品种的优异性, 而作物品种都有其相适应的地区范围和耕作栽培条件则反映了品种的适应性。新品种育成后, 其 DUS 特性不因时间和区域的变化而变化, 而 EA 特性则因时间和区域的变化而变化, 即品种的优异性和适应性有其时间性和区域性。在不同地区, 由于生态、经济、耕作栽培条件的不同, 对品种的要求也不同, 即便是同一地区, 其生态特点、经济模式、耕作栽培条件也会不断发展、变化, 因而对品种的要求也会随之改变。因此, 在选育和推广良种时, 必须因地、因时制宜。

作物品种是经济学上的类别, 与种不同, 品种不是植物分类学上的最低单位。英文术语 variety 兼有变种和品种的含义, 为避免混淆, 1961 年国际生物学联合会在《栽培植物国际命名规章》中规定用 cultivar (由 cultivated variety 组合而成, 简称 CV) 专指栽培植物的品种, 以区别于变种。

作物品种在农业生产中可发挥巨大的作用, 主要表现在以下几个方面。

(1) 提高农作物单产。单产, 即单位面积产量。农作物优良品种一般都有较大的增产潜力。在相同的生态环境和栽培管理条件下, 优良品种一般可增产 10% 以上, 甚至成倍增长。例如, 新中国成立以来油菜品种的改良大大促进了我国油菜单产的提高: 20 世纪 50 年代白菜型油菜地方品种的推广, 使油菜单产由每公顷 300 多千克提高到 400~500kg; 60~70 年代甘蓝型油菜品种取代白菜型地方品种, 使油菜单产提高到 600~700kg/hm<sup>2</sup>; 80 年代新育成甘蓝型油菜品种的推广, 使油菜单产提高到 1000~1100kg/hm<sup>2</sup>; 90 年代杂交油菜的推广, 使油菜单产提高到 1200~1300kg/hm<sup>2</sup>。

(2) 改进农产品品质。禾谷类作物籽粒蛋白质和淀粉的含量及成分、油料作物种子

含油量及脂肪酸组成、纤维作物的纤维强度等品质十分重要，直接影响到农产品的营养价值和加工品质等。同一农作物不同品种间的品质也不相同，优良品种的产品品质相对更优，在农产品市场上也具有价格优势。

(3) 增强作物抗逆性。作物生长过程中常会遇到病、虫、草、干旱及冻害等各种生物、非生物逆境的影响，严重者导致作物大幅度减产甚至绝收，对农产品品质也有很大影响。通过遗传改良提高品种的抗逆性，可以增强品种对外在环境的适应性，保证稳产。同时，随着作物品种对盐碱、干旱、湿害等抗逆性能力的增强，该作物的栽培区域和种植面积也能进一步得到扩大。

(4) 促进农业产业结构调整。不同品种的株型、生育期特性也不同。充分利用这些不同点，通过提高复种指数（多茬、套种）可有效提高土地利用率。

(5) 利于农业机械化，提高劳动生产率。熟期一致、株型紧凑、抗裂角（抗落粒）的作物品种有利于机械收获，提高劳动生产率。

(6) 扩大作物的种植区域。

## 第二节 作物进化与遗传改良

### 一、作物的进化

进化是生物界的基本特征，达尔文在《物种起源》中指出，生物进化的三个基本要素是变异、遗传和选择，变异和遗传是进化的内因和基础，选择决定进化的方向。

由野生植物逐渐演变成栽培植物的过程称为作物进化。作物进化包括自然进化和人工进化。自然进化是自然变异和自然选择的结果，通过自然环境条件的变化选择和积累对作物种群生存和繁衍有利的变异并使其得以遗传。自然进化选择的主体是自然条件，进化的方向是对环境条件的适应，对作物本身的生存繁衍有利。而人工进化则是人类为生产的需要而人工创造变异并进行人工选择的进化，其中也包括有意识地利用自然变异及自然选择的作用。人工进化选择的主体是人，进化的方向主要取决于人工选择保存和积累对人类有利的变异，并使其后代得到发展，促使野生类型向栽培类型转化，或选育出生产上需要的作物新品种。自然进化和人工进化的方向既有一致性，又有矛盾性。例如，人工进化选择保留多粒、抗逆性突出、适应性强的品种就与自然进化选择的方向一致，而人工进化选择保留高产、优质、矮秆的品种与自然进化选择的方向存在不同程度的矛盾。

作物育种实际上就是作物的人工进化，是适当利用自然进化的人工进化，其进化速度比自然进化快。自然进化一般较为缓慢，创造一个新的变种、种平均需要几万年或几十万年。随着人类科学技术的不断进步，人工创造变异能力和对性状的鉴定选择方法不断增强、改进，人工进化可在短短十几年甚至几年中创造出新的栽培作物新类型或作物新品种。

### 二、作物遗传改良

作物遗传改良是指对作物的各种遗传特性进行改良提高，使作物生产的农产品更符

合人类生产和生活的需要。自原始社会人类文明发展以来,在野生植物被人类驯化为栽培作物过程中,人类就潜意识地在对作物进行缓慢的遗传改良。例如,人类为了获得更多的食物对禾谷类作物大穗(多粒、大粒)性状进行选择改良;又如,禾谷类作物原始祖先在果实成熟时是自动脱落的,在驯化成栽培作物后由于有人类帮助收集种子繁衍后代,这种落粒性状被改良并使禾谷类作物具备了一定程度的抗落粒性。随着人类社会的飞速发展,单一的作物种类不足以满足人类的需要,人类不断发掘出粮食作物、油料作物、纤维作物、饲料作物、药用植物及工业用途作物,作物种类、数量不断得到丰富。当人类认识到通过系统的选择方法可以定向改良作物群体的表型后,对已有作物进行遗传改良的步伐飞速加快并最终促使了作物育种学的诞生。作物的遗传改良,可以提高作物单位面积产量,改进产品品质,改良品种的农艺性状,增强对病、虫、草害和干旱、湿涝、寒冷、盐碱等环境胁迫的抗逆性,进而提高品种的适应性,扩大作物品种的种植区域。

作物遗传改良的基础是遗传学科的发展。遗传学很大程度上源于育种学,大多遗传现象最初是在育种过程中发现并加以研究的,如作物雄性不育是先在育种过程中发现雄性不育现象并将雄性不育成功应用于玉米、水稻和油菜等农作物产量杂种优势利用以后才开始深入研究雄性不育的遗传机制。其他重要的育种性状(如抗性性状、品质性状等)也是基本确认其具有育种实用价值后才开展性状的遗传研究乃至基因克隆。可以说没有育种学科的发展也就没有遗传学科的发展。反之,遗传学理论的发展进一步指导并促进了育种学理论、方法与技术的改进与完善。遗传育种理论与方法的深入研究和生物技术的应用使得作物遗传改良的效率得到进一步的提高,特别是分子遗传学实验技术(如分子标记技术、基因工程技术)的发展成熟及其在作物育种中的应用加快了育种学的深入发展,分子育种学这门新兴的学科已初具雏形。随着新的理论、知识和方法技术的不断创新和应用,作物遗传改良必将在 21 世纪发挥越来越重要的作用。

### 第三节 作物育种学的发展

作物育种学的发展大体可划分为早期原始育种、近代计划育种和现代多样化育种三个阶段。

早期原始育种阶段可以追溯到万年以前,与野生植物的驯化和农业的起源有密切关系。该阶段作物育种进展十分缓慢,人们仅仅凭借经验和技巧进行选择,自发地选择最好的果实和籽粒繁殖下一轮群体,对其基本的遗传特性一无所知。在这一阶段,我国有育种相关的文献记载。例如,西汉《汜胜之书》中记载了穗选法;北魏《齐民要术》中也有许多人工选择方面的记载。可惜这些文献记载的多是育种方面的经验描述,未能形成系统的育种理论体系。相同时期国外学者的相关研究则要系统一些,对以后的育种工作影响更大。达尔文的《物种起源》(1859)和《植物界异花受精和自化受精的效应》(1876)中阐释了选择和杂交等与进化的关系;孟德尔遗传定律在 20 世纪初被重新发现;约翰森(1903)提出的纯系学说为纯系育种奠定了理论基础。

随着遗传学、进化论及有关基础理论的发展,作物育种从 20 世纪 20~30 年代开

始摆脱主要凭经验和技巧的初级状态,进入了近代计划育种阶段。这一阶段主要以达尔文的自然选择和人工选择学说为理论基础,育种方法为系统育种和杂交系谱法育种。在这一阶段,作物育种逐渐发展形成一门具有完整的理论体系和科学方法的应用科学。1927年问世的世界上第一部系统论述作物育种的专著《作物育种》由美国学者 Hayes 和 Garber 出版。随后前苏联学者 Vavilov 于 1935 年出版《植物育种的科学基础》。1942 年 Hayes 和 Immer 出版了《植物育种方法》,该书的第二版于 1955 年出版,内容更加充实、完善。这些论著对作物育种学的发展奠定了基础。在我国,王绶于 1936 年出版了《中国作物育种学》,沈学年于 1948 年出版了《作物育种学》。新中国成立以来,北京农业大学 1964 年主编出版了《作物育种与良种繁育学》;蔡旭 1976 年主编出版了《植物遗传育种学》第一版,1988 年出版第二版;西北农学院 1981 年主编出版了《作物育种学》;潘家驹 1994 年主编出版了《作物育种学总论》;张天真 2003 年主编出版了《作物育种学总论》等,对促进我国作物育种及育种教育事业的发展起了重要作用。

现代多样化育种阶段大致从 20 世纪 60 年代开始至今。此阶段作物育种方法多种多样,有系统育种、杂交系谱法育种、远缘杂交育种、倍性育种、诱变育种、杂种优势利用、轮回选择等。20 世纪 60 年代小麦、水稻等作物通过矮化育种掀起第一次“绿色革命”;70 年代兴起组织培养技术;80 年代兴起分子标记技术与转基因技术。植物组织培养、分子标记、转基因等高新生物技术与常规技术有机结合,传统作物育种学科得到进一步提升,现代作物育种已发展成为一门包容多学科发展成果的现代科学,分子育种学的基本技术手段也正是在这一阶段发展成熟并开始作物育种中得到应用。

## 第四节 我国作物育种的成就与展望

### 一、我国作物育种的主要成就

#### 1. 种质资源的收集整理与研究利用

种质资源是作物育种的基础,各国对种质资源相关的研究工作均十分重视。我国在 20 世纪 50 年代开始进行大规模种质征集工作,70 年代末补充征集了全国各类作物种质资源,还在云南、西藏等地区重点开展了大豆、水稻、小麦等作物地方品种和近缘野生植物考察,发现许多新的野生稻、野生大豆等种质资源。“七五”期间我国对三峡和神农架周围地区以及海南省的作物种质资源进行考察,收集到大量珍贵的种质资源。同时我国还在世界范围内开展种质资源的收集、交换和引种工作。目前我国拥有种质资源已达 38 万份以上,居世界前列。我国已对主要作物种质资源的主要性状进行了初步鉴定评价,建立了现代化种质储藏和管理系统;建成现代化国家作物种质资源长期库 2 座,中期库 1 座,稻、棉、薯、麻、果树、茶、蔬菜等作物种质资源圃 32 个;建成中国作物种质资源信息网(CGRIS,即 chinese crop germplasm resources information system, <http://icgr.caas.net.cn/default.asp>),该系统拥有粮食作物、纤维作物、油料作物、

蔬菜、果树、糖、烟、茶、桑、牧草、绿肥、热带作物等 180 种作物、39 万份品种/种质/基因信息，为促进我国作物育种的发展奠定了坚实的基础。

## 2. 育种途径、方法及技术的研究和应用

我国作物育种途径的研究和应用最大的成就在于作物雄性不育杂种优势的利用，玉米、水稻、油菜和高粱等都已先后育成了高产的杂交种，并大面积推广，其中水稻和油菜的杂种优势利用位居世界领先地位。通过远缘杂交创造新物种、新类型在我国也取得了较大成绩。在国外创造了六倍体小黑麦之后，我国育成了八倍体小黑麦和八倍体小偃麦。倍性育种技术也得到了较好的发展，水稻、小麦、烟草等作物的花药培养技术已经成熟并有品种在生产上大面积推广。油菜的小孢子培养技术对未成熟花粉（单核小孢子）进行培养分化成苗的技术流程也已成熟，在新品种选育及亲本遗传改良方面发挥了重要作用。我国在诱变技术和诱变育种上也得到了很大的发展，已育成了高产、优质、多抗的水稻和小麦等作物新品种（系），通过诱变育成和推广的作物种类和品种数位居世界前列。转基因技术在我国也得到了实践应用，中国农业科学院棉花所与山西省农业科学院棉花所、江苏省农业科学院经济作物所等单位合作育成了抗虫棉品种。此外，我国还改进了育种材料的性状鉴定方法，发展了微量、快速、精确的鉴定技术，有力地提高了种质资源的筛选和育种的效率。

## 3. 目标性状得以改良，大批新品种选育并推广

由于我国耕地面积少、人口众多，长期以来高产是我国作物育种的首要目标。矮秆高产新品种的育成和推广，使稻、麦等禾谷类作物产量得到大幅度提高。随后的杂种优势利用在产量育种上也取得了很大的成就。在抗病育种方面，小麦抗锈病，玉米抗大、小叶斑病，水稻抗白叶枯病，棉花抗黄、枯萎病等都取得了显著成效。在品质育种方面，玉米、大麦、小麦等禾谷类作物的高蛋白、高赖氨酸的选育，油菜的高含油量、低芥酸、低硫苷、低饱和脂肪酸的选育，棉花纤维强度的改进等，都取得了较大的进展。

新中国成立以来，我国共培育出 41 种作物的新品种 5000 多个，全国范围内主要农作物品种得到 5、6 次更换。“九五”期间，我国农作物育种攻关项目主要选择水稻、小麦、玉米、大麦、谷子、棉花、大豆、油菜、花生、甘蔗、甜菜等共 18 种农作物，5 年间先后培育出优质、高产、多抗作物新品种 276 个，新品种累计推广面积 2.66 亿  $\text{hm}^2$ ，增加农产品 1288 亿 kg。

## 4. 良种繁育体系的建立

1958 年我国提出了“自选、自繁、自留、自用，辅之以调剂”的“四自一辅”的良种繁育和推广体系。20 世纪 80 年代以后，又提出了“品种布局区域化、种子生产专业化、种子加工机械化、种子质量标准化、以县为单位统一供种”的“四化一供”的种子工作方针。对我国的种子生产、良种繁育起到了积极的推动作用。当前，杂种优势的利用是玉米、水稻、油菜等作物产量育种的主要技术手段，其亲本繁育与杂交制种已不能简单套用“四自一辅”、“四化一供”的模式。为加快杂交种繁育进程，保证种子生产质量，北方的夏播作物和春麦等在海南、云南等地进行冬、春季南繁、制种，南方的冬麦和油菜在夏、秋季在甘肃、青海等地进行北繁、制种。

## 二、作物育种工作的展望

### 1. 种质资源研究工作有待进一步加强

我国尽管已收集、保存了大批种质资源,但深入研究、利用的力度尚不够,而且收集的种质遗传基础较狭窄,还需要继续征集国内外种质资源并对已有材料做更全面、更系统的鉴定,筛选出具有优异性状的种质供育种使用。深入研究目标性状的遗传特点及其机理,对一些优异种质的主要性状,进行基因标记、克隆和转移,加快基因资源的利用效率。除此以外,我国某些作物种质资源收集、保存与育种并非在同一个单位,因而在种质资源使用方面的衔接尚不够。

### 2. 育种理论与方法的研究需进一步深入

为了使育种工作更有预见性和不断提高育种效率,必须深入研究各作物主要目标性状及其组分的遗传规律;加强产量、抗性、杂种优势等的生理生化基础研究;加强株型育种、源库流学说的理论研究;完善分子育种技术体系,促进分子标记、转基因等现代生物技术在育种上的应用。

### 3. 增强育成品种的抗逆性及提高产品品质

随着育种水平的提高,作物品种产量的提高即将遇到一个新的“瓶颈”,在新的育种技术未能解决该问题时,产量的提高将十分有限。同时,近年来全球气候变暖,病虫害、自然灾害增多,我国工业化、城镇化进度加快,作物生长环境越来越差,这就要求新选育品种对生物、非生物逆境抗性要突出。另外,生活水平的提高使得人们对农产品品质的关注度上升,品质优则价格高、销路好。因此,今后一段时间内育种工作的重心可能会向增强品种抗逆性及提高产品品质方向倾斜。

### 4. 加强多学科合作,提高育种水平

随着育种目标的提高,对新品种的要求越来越高,所涉及的性状越来越多,育种科学与其他学科的关系更加密切,必须依靠多学科综合研究才能提高育种成效。要组织不同学科、不同单位的人才和技术力量,围绕育种任务和目标,分工协作,才能形成整体优势。

### 5. 改革育种体制,推进育种的产业化进程

育种是一门实践性很强的应用学科,必须重视育种社会效益与经济效益的结合,推进新品种的产业化进程。与发达国家相比,我国的种子产业在品种选育、种子生产、加工、销售等方面相互脱节,种子企业主要从事种子生产与销售,规模小、效率低、缺乏竞争力,这与我国现行的育种体制有很大的关系。现有的育种体制和格局是在计划经济体制下形成的,主要依靠行政决策,忽视甚至排斥市场的导向作用,不适应市场经济发展和农业可持续发展的需要。因此,有必要改革现行体制,解决育种与企业经营相脱节的问题。可以让农业科研单位从农作物品种资源、育种材料、育种方法和新品种选育等系列研究逐步转向品种资源、育种材料和育种技术研究为主,农作物新品种选育研究逐步进入种子企业,使种子企业形成育、繁、推一体化;或者制定相关政策,让农业科研单位的育种者自主开发市场,走科研、生产、经营一体化,育、繁、加、销一条龙的道路,逐步实现产业化。

### 思考题

1. 生物进化的基本因素是什么？它们在生物进化中的作用及相互间的关系如何？
2. 作物品种具有哪些属性？简述良种可以解决哪些生产问题。
3. 简述作物育种工作的发展趋势。

### 主要参考文献

- 北京农业大学作物育种教研室. 1989. 植物育种学. 北京: 北京农业大学出版社
- 景士西. 2000. 园艺植物育种学总论. 北京: 中国农业出版社
- 潘家驹. 1994. 作物育种学总论. 北京: 中国农业出版社
- 西北农学院. 1981. 作物育种学. 北京: 中国农业出版社
- 张天真. 2003. 作物育种学总论. 北京: 中国农业出版社

# 第一章 育种目标

## 第一节 作物育种的主要目标

育种目标 (breeding objective) 是指在一定的生态环境、耕作制度和经济发展水平下, 对计划选育的新品种在生物学和经济学性状上的具体要求。育种目标是待选育新品种的设计蓝图, 也是育种工作的指南, 它直接影响亲本的选配及育种方法的选择, 并在很大程度上决定着育种实践的成败。随着经济水平的发展, 人口数量的膨胀, 农业从业人数锐减和可耕地面积的持续萎缩, 人们必须依赖更少的人和更少的土地生产出更多更优的农作物产品。当前形势下, 大幅度提高农业生产的单位面积产出和农业生产的效率是应对挑战的唯一途径。这就要求作物育种者为农业生产提供高产、优质、稳产且适合于机械化操作的农作物品种。

### 一、高产

高产是优良品种最基本的条件, 现代农业对品种的产量潜力 (yield potential) 提出了新的要求。影响作物产量的因素很多, 但通常归为三种, 即品种本身的产量潜力、栽培条件 (包括生态环境和栽培管理水平) 及二者之间的互作。因此, 育种者在制订产量育种目标时不仅要考虑产量潜力, 还必须考察品种待推广区域的栽培条件。

在作物的高产育种和栽培中, 部分研究者提出了“源、流、库”的概念。“源”指的是作物进行光合作用的器官, “库”则是指贮存光合产物可供收获的器官, 而“流”则是将光合产物从“源”转运到“库”的器官。只有三者协调一致, 育出的品种才能高产。实践中, 高产育种主要涉及株型、产量构成因素和光合效能三类性状。

#### 1. 株型

高产品种的一个显著特点是群体与环境的关系及群体内个体之间的关系协调, 个体产量潜力得到良好的发挥, 群体产量达到最优。合理的株型是达到这一目标的基础。株型是指农作物个体的轮廓, 包括“狭义株型” (plant morphology) 和“广义株型” (plant type) 两个方面。前者是指作物的形态特征及空间的排列方式, 如在水稻中主要包括植株高矮、分蘖集数、叶片长短宽窄和穗形等。后者除包括“狭义株型”的范畴外, 还泛指与群体光能利用直接相关的生理生态机能性状, 是株高、分蘖数 (分枝数)、分枝部位、分蘖 (枝) 部位与主蘖 (茎) 的角度、叶片的数目及与茎秆之间的夹角、叶色与叶形和根部形态等的统称。

株高是株型的一个重要指标, 是决定植株抗倒伏能力的主要因素。20 世纪 60 年代从水稻和小麦中开始的“矮秆育种” (dwarf breeding) 使得单产面积大幅度提高, 从而被誉为“绿色革命”。研究表明, 株高与作物的生物学产量一般呈显著正相关, 特别是

在高产条件下；而生物学产量增加是增加经济学产量的基础。因此，对株高的改良必须把握合适的度。一般认为，在确保不倒伏的情况下，有必要适当增加株高。目前水稻超高产育种中提出的合理株高在 1m 左右。株型的其他指标通过影响植物个体与群体的光合作用效率，对产量的影响也是非常的明显，如分蘖（分枝）紧凑、叶片直立短窄、叶面积指数合理和叶色较深的品种，田间气流畅通，光和热利用效率高，植株上、中、下层叶片均能有效参与光合作用，从而更加有效地积累并转运碳水化合物。

理想株型 (plant ideotype) 是育种家通过对育种实践长期的总结与探索，勾勒出不同作物的一种理想的生物学模型，使育种过程中作物形态和机能的各个有利于提高光能利用率的方面能得到全面而综合的考虑，并充分考虑待推广地区的生态条件，使生物产量和经济学产量都达到理想水平。这种生物学模型在可控的环境条件下，是可以接近甚至实现的，是对育种工作的指引，并在育种工作中不断修正、充实和提高。设计的理想株型，须针对特定的生态区域，须与栽培水平及其发展方向相适应，并随着人们对农作物与环境的深入理解而不断更新。不同作物理想株型的差异较大，Donald (1968) 曾提出小麦的理想株型，包括强而短的茎秆、直立的叶群、叶片数目不多且叶片较小、直立有芒的大穗、单茎无分蘖等主要特征。理想株型育种 (breeding for ideal plant type) 已成为育种科学的重大理论支撑，近 40 年的育种实践充分证明了该理论的科学性，及其对育种工作的重要指导作用。

## 2. 产量构成因素

一个品种的单位面积产量可以分解成几个不同的产量构成因素。不同作物的产量构成因素不同，但划分的基本原理一致，即单位面积上产品的数量 $\times$ 单位数量对应的经济学产量，如水稻等禾本科作物一般是单位面积的穗数、每穗粒数和千粒重，棉花是单位面积株数、株铃数、单铃重和衣分，油菜和大豆等则是单位面积株数、单株结荚数、每荚粒数和千粒重。这些产量因素的乘积就是理论产量。虽然研究表明，产量构成因素之间往往存在负相关，改良其中的一个指标时，其他性状往往会变差。但根据以往的育种实践，在保持其他性状基本不变的条件下，定向改良其中单独的指标来提高产量潜力是可以实现的。因此，不同高产品种产量构成因素的主攻方向有所不同，如小麦中有三种不同的高产类型：①多穗型品种，以增多穗数为基础，如“豫麦 49”；②大穗型品种，以增加穗重为主要因素，如“周麦 18”；③中间型品种，即同时考虑单位面积的有效穗数、每穗粒数和粒重，如“豫麦 18”。

## 3. 光合效能

植物通过光合作用固定干物质，通过呼吸作用又消耗部分干物质，整个生育期内作物积累和消耗的干物质差即为生物学产量 (biomass)，它对应的则是“源”。经济学产量 (economical yield) 则是指生物学产量中以收获目标形态存在的那部分干物质，对应的是“库”。经济学产量与生物学产量的比值称为经济系数 (coefficient of economics) 或收获指数 (harvest index)，是“流”能力的具体衡量指标。一般将以提高作物本身光合能力和降低光呼吸消耗水平，并提高收获指数为目标的育种实践称为高光效育种。

目前不同作物的收获指数水平已经接近极限，进一步提高则困难很大，效果也不明显。同样，通过提高叶面积指数 (leaf area index) 来增加光合能力也非常困难。因此，

目前的高光效育种主要体现在提高单位面积的光合强度和降低光呼吸消耗两个途径。育种实践表明，同一作物的不同品系之间的光合强度和光呼吸均存在变异，通过育种选择可以获得高光合强度和低呼吸消耗的材料，从而提高经济学产量。

必须指出的是，株型育种和高光效育种虽然是两个不同的概念，但二者之间联系紧密，高光效育种的部分指标必须通过合理的株型设计才能实现，如单位面积的光合强度和收获指数。提高光合强度可通过叶片与主茎的夹角、叶片的数目及分布密度和叶色等指标实现，而合理的株高则是提高收获指数的一个重要途径。因此，在制订育种目标时，不应将株型育种和高光效育种看成两个孤立的方面，而应予以统筹考虑。

## 二、优质

农作物的品质是一个比较广泛的范畴，但总体可以归为物理品质和化学品质两大类。物理品质指作物产品物理性状的好坏，可通过味道、气味、外观和颜色等形式来满足消费者的一些固有特征。化学品质则是指通过化学分析测算出农作物产品的主要营养成分的构成及含量。这些品质一般不能通过感官来正确评判，但它们对于使用价值却具有直接的影响。理论上，任何品质性状都由一些化学物质的含量或结构的改变所导致，随着分析与检测技术的迅速发展，对这些物质的分析也将更加全面与准确，因而品质标准也会更加具体化（作物新品种审定时会具有越来越多的品质标准）。

在农业生产水平较低条件下，产量潜力往往成为衡量农作物品种的主要指标。然而，随着国民经济的发展，人们生活水平已经得到显著提高。在各类农作物市场供给充足的情况下，农作物品质越来越受到人们的关注。品质是根据终端使用来评判的，体现出对终端消费者的满足程度。一个新的产品除了拥有高产潜力外，其推广成功与否很大程度上取决于终端消费者的接受程度。农业生产实践表明，一些产量潜力很高的品种由于品质较差，在推广一段时间后，推广面积萎缩甚至被淘汰，如20世纪80年代初获得国家发明一等奖的高产棉花品种“鲁棉1号”。此外，优质产生的经济效益显著超过增加产量的例子已是屡见不鲜，甚至一些产量潜力并不是很高，但在品质方面具有非常突出优点的一些“特用”品种，其给种植者的经济回报会远远超过普通高产品种。因此，在目前农作物育种目标的制订过程中，品质优良已经成为育种家重点考虑的对象，在某些作物中甚至超过了产量而成为第一权重指标。

同一农作物产品的不同用途，对终端品质的要求也相差很大。小麦面粉一般有两种用途，一种是制作馒头、面条和面包等，另一种是制作糕点和饼干等，它们的差别是由面粉中蛋白质含量和面筋质量决定的，前者要求蛋白质含量高，面筋质量好，强度高，而后者则恰恰相反。作为食品的土豆，其食用的方法更为丰富，炸、蒸、煎、煮、烤等，每种食用方法都需要不同品质的土豆。用于煮食的土豆要求固体物的含量越低越好，这样煮出的土豆块能保持较好的硬度和形状；相反，用于炸薯条的土豆则要求固体物的含量越高越好，含糖量越低越好，因为水分在烹饪的过程中会挥发，最终薯条的重量主要靠固体物来保持，而低含糖量则可炸出颜色“金黄”的薯条，对消费者具有更强的诱惑力。因此，品质育种的一个显著趋势是根据需求的差异，选育专用型的农作物品种，使需求与供给一致。

品质改良是育种计划中比较困难的工作：①育种中需要鉴定的材料多，对品质进行评价和分析的程序也复杂得多，因此品质测定需要大量的时间；②品质测定往往会对待测定的部分造成毁灭性的伤害，而这些部分很可能是作物繁殖下一代所必需的种子或器官；③在品质育种过程中，由于人类选择的方向和有利于作物自身生存的进化方向往往存在差距，从而在改良品质的同时，对作物本身其他性状产生负面影响，如导致抗性降低，适应性变差，最终导致产量的下降。

### 三、稳产

优良的品种除具有高产潜力外，还必须在不同年份和不同的推广区域，面对各类环境条件的变化，产量变幅小并且始终表现出较高产量水平，品种的这种表现称之为稳产。目前，主要农作物的产量水平已经较高，稳产性则成为影响农业生产的重要因素之一。某一作物品种的稳产性主要是由该品种对逆境的抗性及其适应性所决定的。逆境一般可以分为两个方面，一方面是生物逆境，主要是指病害和虫害对作物产量的负面影响；另一方面是非生物逆境，主要指不利的气候条件和土壤条件对作物产量的影响。而适应性则是指某一品种对不同生态环境的适应程度。

#### 1. 生物逆境抗性

自有农业生产以来，就有病虫害的发生。尽管人类与病虫害进行了长期的斗争，但病虫害始终是危害农作物生产的最主要的因素之一。特别是主要农作物的矮秆化育种，化肥施用量的提高，以及大面积推广同一品种，使得农业病虫害的发生愈演愈烈。例如，2005年，油菜菌核病在全国的发病面积达到338.5万 $\text{hm}^2$ ，造成油菜籽产量损失达17万t。同年，稻飞虱在西南单季稻区、长江中下游单季稻区和双季晚稻区、华南晚稻区大暴发，部分省市的发病为近20年最重，发生总面积达到2576.5万 $\text{hm}^2$ ，造成稻谷产量损失180万t，是2004年的3倍。农业病虫害的严重发生迫使农业化学防治投入大幅上升。但实践表明，单独依靠化学防治消灭病虫害，不仅增加了农业的投入，而且严重地破坏了生态环境，一些对农业生产有利的非防治对象生物也被消灭，其结果往往是在取得暂时的成效后，农作物的生产将面临更加严重的威胁。因此，从20世纪60年代开始，人们发展了有害生物综合防治体系，即将品种抗性、栽培防治、生物防治和化学防治等方面综合到一起的防治方法。其中选育抗性品种是该体系的首要内容。

在针对生物逆境的育种中，必须树立生态平衡的观念。作为农业生态链中的不同角色，农作物和病虫害之间处于此消彼长的动态平衡中；但随着人类的不断选择施压，农作物的某些性状发生了很大改变，二者之间的相对平衡在短时间内被打破，使生态平衡向着人类有利的方向倾斜。但病原菌和害虫同样在不断地改变，以适应人类的影响，一旦越过作物和人类的防御体系后，病虫害将对农业生产造成更加严重的损失。因此，从生态环境的平衡观出发，农作物品种的病虫害抗性，只要求在病虫害流行时能将其危害程度控制到经济允许的阈值之下，而不要求选育的品种对病虫害具有绝对抗性，从而使农作物与病虫害之间处于长期的动态平衡之中。这样新的病虫害也不易产生，品种的抗性更加持久，在生产中适应性好，推广的时间可能会更长。另外，在制订抗病虫害育种目标时，必须判断待推广地区的主要病虫害并预测一段时间中的病虫害的发展趋势，因

为主要的病虫害可能会随着栽培条件、作物品种和气候的改变而发生变化,暂时处于劣势的病虫害可能在几个生长季节之后成为主要病虫害。育种中必须充分评估这些病虫害,并据此选择具有抗性的育种材料,最终育出的品种除具有较好的病虫害综合抗性外,还必须对几种主要的病虫害具有更强的抗性。

## 2. 非生物逆境抗性

除病虫害等生物因素外,很多不利的非生物因素也会严重干扰农作物生产,从而降低产量和品质。干旱是导致农业减产的重要因素之一。我国相当大面积的耕地缺乏灌溉条件,完全靠雨水滋养,这部分农田农业生产的稳定性差,特别在近些年极端气候频繁发生的情况下,干旱发生愈发严重。而在降雨量充沛且具灌溉条件的地区,面对严重的季节性干旱也经常无能为力。2006年夏秋季节,影响我国重庆和四川等地的极端干旱天气,不但使农业生产遭受毁灭性打击,而且连人畜的基本用水都非常困难。因此,随着农业用水供应量的减少及干旱频繁的发生,抗旱育种逐渐成为多种作物,尤其是如水稻等耗水量大的农作物的育种目标。

土地盐碱化则是农业生产的另一个重大威胁。我国西北内陆地区、华北平原、黄淮平原和东北平原是我国的重要粮食生产基地,但该区域部分土壤盐碱化危害比较严重,受影响的耕地总面积达1.4亿亩(1亩=666.6m<sup>2</sup>)以上。农作物在该区域种植时,一般都会受到生理胁迫,生长势差,产量较低。因此,在该区域推广的农作物品种应该具备更强的耐盐碱能力。制订相应的育种计划时应将耐盐碱作为一个重要的育种目标。

## 3. 适应性

同一农作物的不同品种适应的种植区域不一样,适应性好的品种在不同生态区均能获得良好表现,而适应性较差的品种只能在特定区域推广,引到其他区域则表现一般,甚至产量潜力下降。此外,适应性强的品种在同一生态区域种植时,年份之间表现比较稳定。需要指出的是,适应性并不是一个具体的性状,而是农作物品种对气候、土壤、海拔和纬度等的综合反映,涉及作物的光合作用能力、养分利用能力、病虫害抗性和光温反应等多个方面。

我国国土面积的纬度和海拔跨度大,土壤条件复杂,而且小气候区域多,导致同一农作物在大面积推广时会遇到各种类型的生态环境及其相配套的栽培条件。为了提高生产的安全性和品种的经济效益,品种的适应性应纳入育种目标之中。增强适应性的育种过程中,需要注意两点。其一,针对多个生态区域的育种计划,需掌握不同区域生态环境的特点,育种过程中最好能做到多年多点的选择和鉴定(穿梭育种)。其二,明确不同作物适应性的差别。根据以往的育种实践来看,像玉米和水稻等作物,其适应性一般较强,选出适应性好的品种可能性高。例如,20世纪80年代由辽宁省丹东市农业科学研究所选育的优良玉米单交种“丹玉13”,从我国北部的吉林到南部的广西之间的所有省份,均表现优异。由江苏省农业科学院粮食作物研究所培育的两系杂交水稻品种“两优培九”能够适合全国稻区的13个省、直辖市,丰产性能好,推广应用面积已超过600万hm<sup>2</sup>,到目前为止仍是不少稻区的主推品种之一。相反,大豆品种的适应范围就较小。

#### 四、生育期适宜

生育期是对农作物品种的一项重要要求，是作物对光照和温度反应的综合表现。不同的生态区域对同一作物的生育期要求不一样，而同一品种在不同生态区域种植时其生育期也会发生较大的变化。通常情况下，生育期长的品种，通过光合作用固定的干物质更多，产量潜力可能比同区域生育期短的品种高。因此，从增产角度出发，在时间允许的范围内，选育生育期长的品种是有利的。但在多熟制的栽培条件下，生育期过长可能会造成前后茬口的冲突。作为某一地区的主要农作物，往往是农业收入的主要贡献者，因而其生育期必须占主导地位，应该充分满足。其他茬口作物则是围绕主栽作物的生育期来进行改良，最终保持协调。近些年来，不少区域的种植模式已经发生改变，熟制也相应发生变化。例如，在长江流域，三熟制改成两熟制的情况非常普遍，不同作物之间的季节冲突有所缓和。因此在制订育种目标时必须考虑这一实际情况，对生育期的选择可以适当放宽。

值得注意的一点是，生育期和作物的避病性或避虫性之间往往存在一定的联系。在改良生育期的过程中，应当考虑作物主要病虫害的发生时期与作物生长过程之间的关系。在允许的范围内，尽量使作物易感生长期与病虫害的高发季节错开，特别是针对某些没有良好抗原的病虫害时，这一点应该着重考虑，从而最大限度地减轻潜在的病虫害威胁。

#### 五、适合于机械化操作

经济发展的趋势使大量农村劳动力向城市转移，农业从业者数量的急剧降低与成本的上升给农业生产提出新的挑战。机械化农业生产是应对挑战的一个重要途径。因此，制订农作物育种目标时，适于机械化操作的一些特点应纳入其中，如要求作物株高一致、果位适中、株型紧凑、生育期和成熟度高度一致、抗倒伏、抗落粒（或抗裂荚、抗裂角）等。

## 第二节 制订育种目标的原则

育种制订的基本原则包括：针对农业生产发展中存在的主要问题，结合国家和地方的法律（法规）和政策规定，调查品种待推广区域的生态环境和种植制度，利用收集的种质资源的特征特性，来综合设计待选育的新品种的产量、品质、抗性、适应性等诸多性状。

### 一、适应国民经济和生产发展的要求

农业特别是种植业是国家经济和生产发展的重要基础，关系到国家粮食生产和供给的安全。提供优良的作物品种则是种植业持续发展的基础，其应当与国民经济和生产发展的要求高度一致。否则，生产出的产品不仅得不到利用，还占用宝贵的土地资源。在市场为主导的经济体制下，国民经济和生产发展的需求主要是通过商品的供求关系得以

体现。满足需要的作物品种具有使用价值高，市场需求量大的特点，种植者能够从销售该类农产品中获得更好的经济效益。反之，不符合经济生产发展要求的作物品种不受市场认可，将给种植者带来更少甚至负的经济利益。因而，育种目标制订时，应该密切关注国民经济的生产发展要求，充分利用市场的供需信息来调整具体的育种目标。

国家或地方也经常通过一些法律（法规）或者一些政策对农业生产进行宏观调控，从而间接影响育种目标。这主要包括以下几个方面：①通过禁止或者允许某些育种材料或方法的使用，从而影响到具体育种目标的实现；②通过农产品的行业标准来规范具体农产品的品质要求，从而影响育种目标的制订；③国家的宏观政策调控可以通过鼓励或限制的方式来影响某些农作物在特定区域的生产；④国家行政部门在农作物消费中具有强势的导向作用，通常会通过对农产品的销售产生重要的影响，从而间接地影响到具体作物品种目标的制订。

## 二、针对作物生产中面临的主要问题和依赖现有的种质资源

虽然现代农业生产对农作物品种选育提出了诸多要求，但在一个具体的育种计划中，并不是将上述所有要求都作为育种目标。这不仅是因为育种工作的一个重要特点是以现有的优良材料为基础（其优点是主要的，缺点是次要的），而且同时对诸多性状改良也是难以实现的。同一种农作物甚至同一个品种在不同区域种植时，遇到的问题可能相差很大。这需要善于发现不同农作物品种在推广过程中遇到的主要问题，抓住主要矛盾，做到有的放矢。

待改良目标的制订还必须依赖于是否掌握具有该优良性状的种植资源。如果现阶段还未发现相应的种植资源，或者已有的种植资源未达到育种目标的水平，那么针对该性状的改良则不可能实现。在作物的抗病害育种中，现有种质资源往往是限制育种目标制订的一个关键因素。例如，在长江流域的冬油菜产区，菌核病始终是油菜生产的严重威胁。虽然，目前已经选育出一批抗性较好的品系，但是均未达到免疫甚至高抗的水平。因此，现阶段的菌核病抗性育种不宜以免疫甚至高抗作为育种目标。如果一旦筛选出高抗甚至免疫的材料，其育种目标则可相应调整。

## 三、与特定的生态环境及种植制度相适应

生态环境是指一个地区的光照、温度和降水等自然条件的综合，它限制作物的种类和类型，使某一特定的生态区域适合种植某些作物而不适合其他作物，或只适合某种作物的部分特异类型品系。同一生态环境条件下，作物的不同品系在生育期、主要农艺性状、抗性要求、产量潜力等主要指标上可能会相差很大，使作物类型与生态环境之间的关系更加密切。因此，在制订育种目标时，必须充分研究待推广地区的生态环境。在确定该区域适合种植某种作物时，必须判别已有的亲本材料是否与之适应。例如，长江流域属于半冬性油菜种植带，因而要求油菜品种具有较低的春化温度，同时抗（耐）菌核病；而中国西北内陆则属于春油菜种植带，要求品种具有较高的春化温度，否则造成花期推迟或难以通过春化阶段。该区域菌核病危害轻，一般不做特别的抗性要求。因此，针对这两个不同生态区域的油菜育种目标应该具有明显的差异。

种植制度包括作物构成、配置、熟制和种植方式等。一个品种产量潜力的实现是建立在一定种植制度基础上的，因为不同的品种，其生育期、株高、肥料利用效率和抗倒伏性等一些性状存在明显差异，其适应的种植条件也有所不同。不同的生态区域其种植制度可能会存在较大的差别，如一熟制与多熟制情况下，作物的前后搭配、栽培方式、栽培密度和收获方式等都有明显差别，只有与待推广地区的种植制度相适应的品种，才能获得最佳的产量。因此，制订育种目标之前，应当调查当地目前及今后一段时间可能的主要种植制度。

#### 四、落实到具体性状和指标

一旦明确育种目标后，需要将其落实到具体的指标。例如，在以稳产为目标的育种计划中，不但需要将其分解到具体的生物逆境抗性、非生物逆境抗性和适应性的某一方面，而且需要进一步落实具体改良的标准。如果以生物抗性为主要目标，则需进一步落实到具体的病（虫）抗性上，并且需要以某一品系作为抗性鉴定的指标，从而在数量上实现育种目标的具体化。

#### 五、用前瞻性和发展的眼光审视育种目标

大多数育种工作是一个耗时的过程，从方案制订、具体实施到最终材料通过区试，一般都需要 5 年以上的时间。如果缺少预见性，5 年前制订的育种目标很可能已经不再符合当前经济生产的需要。因此，制订育种目标时，不仅需要考虑当前面临的主要问题，还必须以前瞻性的眼光来审视该问题和当时可能并不是问题的其他育种目标。

过去的一个世纪中，以矮秆育种和杂种优势利用为代表的作物遗传改良取得了重要进展，全球主要农作物的产量成倍增长。然而，面临人口迅速增长的压力及经济持续发展的要求，农作物生产面临更大的挑战，育种工作难度也随之增加。以水稻育种为例，目前全球的水稻生产面临三个主要的挑战：①不断加重的病虫害；②肥料施用量增加及随之而来的肥料使用率较低；③全球性的水资源短缺。此外，作为全球性的主要粮食作物，水稻生产必须满足不断增加的总量需求，满足对品质提升的需求，并且需要保持与环境的协调发展。这需要在水稻生产中逐渐减少农药、化肥和水的用量，但水稻生产的产量和品质却能够继续提高，从而使水稻的生产获得可持续发展。正是在这一形势下，科学家们提出了“绿色超级水稻”（green super rice）这一构想，它应该包括以下一些特点：能充分抵御主要的病虫害、营养吸收和利用的效率高、抗干旱和其他一些非生物逆境、品质优良，以及不断增加的产量潜力。

传统的育种手段和现代生物技术的紧密结合将是“绿色超级水稻”获得成功的唯一途径。随着现代生物技术和相关遗传学理论不断发展，以基因组学为平台的大规模功能基因鉴定取得了巨大的进展。以一批优异的种质资源为材料，水稻中已经发掘出一大批高抗主要病虫害、能显著提高营养利用效率、耐干旱等生物逆境和控制产量性状的相关基因，基因的作用网络也在逐渐完善。通过分子设计育种实现这些基因的最优组合，进而实现“绿色超级水稻”的育种实践已初露端倪，表明育种目标正从传统的表型概念逐渐向微观的等位基因发展。

### 思考题

1. 名词解释：育种目标 株型育种 经济系数
2. 作物的主要育种目标有哪些？
3. 制订育种目标的基本原则是什么？

### 主要参考文献

- 潘家驹. 1994. 作物育种学总论. 北京: 中国农业出版社
- 西北农学院. 1981. 作物育种学. 北京: 中国农业出版社
- 张天真. 2003. 作物育种学总论. 北京: 中国农业出版社
- Donald C M. 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica*, 17: 385~403
- Zhang Q F. 2007. Strategies for developing Green Super Rice. *Proc Natl Acad Sci USA*, 104: 16402~16409