

INTELLIGENT DECISION SYSTEM OF CROPS BREEDING
WITH SIMILARITY-DIFFERENCE AND ITS APPLICATIONS

作物同异育种 智能决策系统及其应用

郭瑞林 王占中 著



科学出版社

作物同异育种智能决策系统及其应用

郭瑞林 王占中 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是《作物育种同异理论与方法》一书的姊妹篇。全书共分八章，主要内容包括绪论、育种目标同异关系分析计算程序及其应用、亲本同异分类计算程序及其应用、杂交组合同异评估计算程序及其应用、单株同异选择计算程序及其应用、品种同异比较计算程序及其应用、品种同异布局计算程序及其应用、品种同异栽培计算程序及其应用。

全书结构严谨，体例规范；层次分明，自然流畅；内容丰富，语言简练。本书既可作为从事作物育种和相关领域研究人员的有效工具书，又可作为农业高等院校师生、研究生的良好教材。

图书在版编目（CIP）数据

作物同异育种智能决策系统及其应用/郭瑞林，王占中著. —北京：科学出版社，2014.4

ISBN 978-7-03-040246-2

I. ①作… II. ①郭… ②王… III. ①作物育种-智能决策-决策支持系统 IV. ①S33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 048361 号

责任编辑：张海洋

责任印制：徐晓晨/封面设计：耕者设计工作室

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>

北京科印技术咨询服务公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 4 月第 一 版 开本：890×1240 1/16

2014 年 4 月第一次印刷 印张：22

字数：550 000

定价：128.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

前 言

从事作物育种工作的同志，尤其是刚刚踏入育种门槛的莘莘学子大概都曾有过这样的经历和体会：尽管满腹经纶，育种理论知识掌握不少，但面对浩如烟海的育种材料，哪些应该淘汰，哪些应该保留，在需要决定取舍的时候却显得无所适从，十分茫然，诚所谓“雾失楼台，月迷津渡，桃源望断无寻处”。那么，究竟是什么原因造成这种尴尬现象的发生呢？回答当然不外乎是：育种实际工作经验不足！

人们常说，作物育种既是一门科学，又是一门艺术。说它是科学，是因为它也像其他学科一样，要运用还原论的思想，实施精细的试验设计，通过“大胆假设，小心求证”的研究模式，对试验数据进行条分缕析，从中寻求规律，得出科学的依据和结论。说它是艺术，是因为它本身是一门实践性很强的学科，需要育种主体（即育种工作者）运用渊博的育种理论知识和丰富的实践经验，对育种客体（譬如育种材料、亲本、单株、品种等）进行合理的运筹和调控，并最终作出科学的决策。这里，经验的积累常常显得十分重要。育种艺术水平的高低，往往就体现在这种卓有成效的经验灵活运用上。

然而，经验需要积累，决非一年半载之功，常常要耗费育种家毕生的精力方能炉火纯青，出神入化。而最终能达到这种境界和水平的育种工作者却又凤毛麟角，寥若晨星。这也就是为什么从事作物育种工作的研究人员成千上万，而真正能培育出作物新品种的却屈指可数的主要原因之一。那么，如何摆脱这种困境，使育种工作者在决策时不失误或少失误，尽可能达到育种专家那样的水平，从而多出品种、快出品种？显然，这是摆在我们面前的一个不容忽视的重要课题。

而解决这个课题的契机就在于将数学引入作物育种过程，实现作物育种的定量化、信息化和科学化！

为此，20世纪80年代末90年代初，我们将旨在描述和解决“部分信息已知，部分信息未知”系统问题的灰色系统理论与作物育种理论相结合（这是因为作物育种系统本身就是一个典型的灰色系统），提出了建构新兴边缘学科作物灰色育种学的设想，到目前为止已基本形成了以五大体系、八大理论、九个原理、一条技术路线和一个计算机决策系统为突出特色的学术框架，为定量化育种的发展开创了一个良好的发端。

继此之后，21世纪初，我们针对作物育种中的同异现象开展了研究，在此基础上，与联系数学相结合，又提出了一种新的定量化育种理论——同异理论。它的提出和应用，有效地克服了传统经验育种的局限性，使得作物育种能够从定量的角度解释和描述作物育种过程各个关键阶段和环节，从而为育种决策提供可靠的科学依据。因此，备受育种工作者青睐，目前已在小麦、水稻、棉花、玉米、大豆、谷子、绿豆、芸豆、马铃薯、甘蔗、葡萄、烟草12种作物育种中得到应用，产生了良好效果。

虽然育种决策过程中牵涉到的数学运算并不复杂，但育种材料成千上万，处理起来却相当麻烦，这样无形中便限制了这种理论在育种实际工作中的应用。为此，2009年以来，我们以Java技术为支撑，以Eclipse为开发平台，研制出了作物同异育种智能决策系统。该系统功能强大，界面友好，操作简单，方便快捷。既可在各种操作系统下跨平台运行，又可随时实现网络化；既可在系统内录入数据，又可灵活应变导入外源数据；既可即时显现运行状态和步骤，又可打印或保存分析和决策结果。在一些育种单位试用，运行效果令人欣喜：即使育种新手，也能达到育种专家那样的决策水平，从而为育种工作者提供了一种快捷有效的决策工具和手段。

本书就是这一研究成果的结晶。

全书共分八章。主要内容包括绪论、育种目标性状同异关系分析计算程序及其应用、亲本同异分类计算程序及其应用、杂交组合同异评估计算程序及其应用、单株同异选择计算程序及其应用、品种同异比较计算程序及其应用、品种同异布局计算程序及其应用、品种同异栽培计算程序及其应用。

绪论部分高屋建瓴，鸟瞰全景式地勾勒和描绘了作物育种同异理论的基本概念、学术框架，并在此基础上，简要介绍了作物同异育种智能决策系统主要模块和功能及计算程序，预示了其广阔的应用前景，概括而不流于抽象，简短而不陷于疏漏，从而使读者对作物同异育种智能决策系统从整体上获得了鲜明突出

的完整印象。

除此之外，其余各章均按照数学原理、计算方法与步骤、程序设计与流程、程序类型与功能、应用实例与上机操作说明、程序清单的格式顺序展开。理论部分简洁明了，实践部分丰满充实，两者互为补充，相得益彰，使读者既能从理论上融会贯通，又能在实践中得到训练。

为增强读者的现场感和亲历感，全书以作物育种自然流程为背景，模拟育种全过程，从育种目标制定、亲本选配、杂交组合评估、单株选择、品种（系）比较、品种布局，一直到良种良法配套，紧密结合多种作物育种实例，努力营造育种工作氛围，以骨感现实的笔触和可视性极强的图片，将读者带入作物育种的各个阶段和环节。书中应用实例涉及小麦、水稻、玉米、棉花、大豆、谷子、绿豆、芸豆、马铃薯、甘蔗、葡萄 11 种作物，均是作者和同行多年来在育种实践中积累的第一手资料，真实可靠，引之有据，加之学用兼备的叙述风格和图文并茂的操作介绍，使读者在接受和领会同异理论的同时也有了作为一个育种家的感悟与体验。

全书结构严谨，体例规范；层次分明，自然流畅；内容丰富，语言简练。既是从事作物育种和相关领域研究人员的有效工具，又可作为农业高等院校师生、研究生的良好教材。

当然，任何科学理论都不能穷尽真理，只能在实践中不断开辟认识真理的道路。同任何一种新的理论一样，作物育种同异理论也有一个从不完善到完善的过程，尽管我们已经作了十分艰辛的努力，但仍有不少缺憾：亿而不中，在所难免！即使亿而偶中，也可能言之成理而未澈，持之有故而未周，因此殷切期盼育种界博学多识之士，小叩大鸣，济我所乏，指撻其弊，惠我所失，倘蒙见教，没齿难忘。

同样，作为同异理论与作物育种实际密切结合的桥梁和纽带，作物同异育种智能决策系统也必然存在这样那样的问题，不能尽如人意。在其具体操作运行过程中，目前尚未可预知的缺陷也一定会逐步暴露出来。因此，恳请使用该系统的读者，及时将系统存在问题反馈给作者，以便进一步完善、提高、改版和升级。

还应提到的是，目前我国作物育种研究领域已经进入前所未有的发展阶段：分子标记辅助技术方兴未艾，分子设计育种初显端倪，虚拟育种春芽萌动，全基因重测序技术比肩继踵，多基因转化技术风生水起。其灿烂气象，令人鼓舞。应该说，这是当代科学发展高度分化的必然结果。然而，我们也应该清醒地看到，在高度分化基础之上的高度综合的当代科学发展大趋势在作物育种领域却体现不足。因为作物育种本身就是一门综合性学科，培育新品种的过程本质上也是综合运用各种理论与方法对育种对象进行决策的实践过程，因此，综合研究在这里显得尤为重要。作物育种同异理论及其智能决策系统在这方面作了一些有益的探讨和尝试，虽然也有不少学者、专家遥相呼应，在同异理论研究与应用方面取得一些进展，但至今尚未引起育种界的普遍关注和重视。加之其研究未肯紧追潮流，不求苟说于世，很难形成众星捧月般的热潮，所以在研究发展过程中难免会孤军奋战，步履维艰，那种“断无蜂蝶恋幽香，红衣脱尽芳心苦”的孤独和寂寞时常萦绕在怀，不能自己。本书的出版，如果能吸引更多的育种工作者参与到同异理论的研究或应用中来，作者将不胜欣慰之至。

本书内容在研究过程中得到了河南省基础与前沿技术研究项目、河南省重点科技攻关项目、安阳市重大科技攻关项目的资助和支持，得到了安阳工学院、安阳市科技局、安阳工学院科研处、安阳工学院生物与食品工程学院领导和同志们们的热情鼓励和扶植，得到了同事、学生们的无私援助和协理，暑往寒来，情之殷殷，秋种夏收，意之切切，作者将刻骨铭心，永志难忘，在此一并致谢。

最后，还应感谢的是科学出版社的张海洋老师。没有他的力推，本书不会这么快就能与读者见面。正是在他的热情鼓励和支持下，我们精心策划，将多年来的研究心血和成果付诸笔端。只是作者资质愚钝，尚未达到张老师所要求的那样的高水平，纯当是敝帚自享，野芹之献吧。假以时日，经过读者们在育种实际工作中的应用，逐步发现该书和作物同异育种智能决策系统的瑕疵和不足，我们定会根据读者的要求，从善如流，琢磨推敲，使其日臻完善的。

郭瑞林

2013 年 12 月 15 日于安阳工学院德馨苑

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 作物育种同异理论的基本概念	1
一、同异理论诞生的学术背景	1
二、作物育种中的同异现象	2
三、作物育种同异理论及其在作物育种中的学术地位与作用	2
第二节 作物育种同异理论的学术框架	2
一、四个学术构件	3
二、七个关键理论	3
三、九个基本原理	5
四、一条技术路线	9
五、一个决策平台	9
第三节 作物同异育种智能决策系统	10
一、作物同异育种智能决策系统的开发环境	10
二、作物同异育种智能决策系统开发流程	10
三、作物同异育种智能决策系统主要模块与功能	11
四、作物同异育种智能决策系统计算程序	12
五、作物同异育种智能决策系统操作界面	13
第四节 作物同异育种智能决策系统的应用前景	14
主要参考文献	14
第二章 育种目标同异关系分析计算程序及其应用	17
第一节 育种目标同异关系分析的数学原理	17
第二节 育种目标同异关系分析计算方法与步骤	18
第三节 育种目标同异关系分析程序设计与流程	25
第四节 育种目标同异关系分析程序类型与功能	26
第五节 育种目标同异关系分析应用实例与上机操作说明	26
一、育种目标同异关系分析在小麦育种中的应用实例与上机操作说明	26
二、育种目标同异关系分析在大豆育种中的应用实例与上机操作说明	31
三、育种目标同异关系分析在绿豆育种中的应用实例与上机操作说明	35
四、育种目标同异关系分析在棉花育种中的应用实例与上机操作说明	39
五、育种目标同异关系分析在玉米育种中的应用实例与上机操作说明	43
第六节 育种目标同异关系分析程序清单	47
主要参考文献	54
第三章 亲本同异分类计算程序及其应用	56
第一节 亲本同异分类的数学原理	56
一、亲本同异 Q 型分类的数学原理	56
二、亲本同异 R 型系统分类的数学原理	57
第二节 亲本同异分类的计算方法与步骤	58
一、亲本同异 Q 型分类的计算方法与步骤	58
二、亲本同异 R 型分类的方法与步骤	59

第三节	亲本同异分类程序设计流程	59
第四节	亲本同异分类程序类型与功能	60
第五节	亲本同异分类应用实例与上机操作说明	61
一、	亲本同异分类在小麦育种中的应用实例与上机操作说明	61
二、	亲本同异分类在谷子育种中的应用实例与上机操作说明	66
三、	亲本同异分类在绿豆育种中的应用实例与上机操作说明	69
第六节	亲本同异分类程序清单	72
	主要参考文献	81
第四章	杂交组合同异评估计算程序及其应用	82
第一节	杂交组合同异评估的数学原理	82
第二节	杂交组合同异评估的计算方法与步骤	83
第三节	杂交组合同异评估程序设计与框图	91
第四节	杂交组合同异评估程序类型与功能	93
第五节	杂交组合同异评估应用实例与上机操作说明	94
一、	杂交组合同异评估在小麦育种中的应用实例与上机操作说明	94
二、	杂交组合同异评估在玉米育种中的应用实例与上机操作说明	102
三、	杂交组合同异评估在大豆育种中的应用实例与上机操作说明	108
第六节	杂交组合同异评估程序清单	115
	主要参考文献	122
第五章	单株同异选择计算程序及其应用	123
第一节	单株同异选择的数学原理	123
第二节	单株同异选择的计算方法与步骤	124
第三节	单株同异选择程序设计与流程	125
第四节	单株同异选择程序类型与功能	126
第五节	单株同异选择应用实例与上机操作说明	127
一、	单株同异选择在小麦育种中的应用实例与上机操作说明	127
二、	单株同异选择在棉花育种中的应用实例与上机操作说明	133
第六节	单株同异选择程序清单	139
	主要参考文献	145
第六章	品种同异比较计算程序及其应用	147
第一节	品种同异比较的数学原理	147
第二节	品种同异比较的计算方法与步骤	148
第三节	品种同异比较程序设计与流程	150
第四节	品种同异比较程序类型与功能	151
第五节	品种同异比较应用实例与上机操作说明	152
一、	品种同异比较在小麦育种中的应用实例与上机操作说明	152
二、	品种同异比较在棉花育种中的应用实例与上机操作说明	164
三、	品种同异比较在大豆育种中的应用实例与上机操作说明	171
四、	品种同异比较在水稻育种中的应用实例与上机操作说明	178
五、	品种同异比较在玉米育种中的应用实例与上机操作说明	184
六、	品种同异比较在绿豆育种中的应用实例与上机操作说明	191
七、	品种同异比较在谷子育种中的应用实例与上机操作说明	198
八、	品种同异比较在马铃薯育种中的应用实例与上机操作说明	205
九、	品种同异比较在甘蔗育种中的应用实例与上机操作说明	212
十、	品种同异比较在葡萄育种中的应用实例与上机操作说明	219
十一、	品种同异比较在芸豆育种中的应用实例与上机操作说明	226

第六节 品种同异比较程序清单 232

主要参考文献 239

第七章 品种同异布局计算程序及其应用 241

第一节 品种同异布局的数学原理 241

第二节 品种同异布局的计算方法与步骤 241

第三节 品种同异布局程序设计与流程 244

第四节 品种同异布局程序类型与功能 244

第五节 品种同异布局应用实例与上机操作说明 245

 一、品种同异布局在小麦育种中的应用实例与上机操作说明 245

 二、品种同异布局在大豆育种中的应用实例与上机操作说明 256

 三、品种同异布局在绿豆育种中的应用实例与上机操作说明 265

 四、品种同异布局在谷子育种中的应用实例与上机操作说明 272

第六节 品种同异布局程序清单 280

主要参考文献 287

第八章 品种同异栽培计算程序及其应用 288

第一节 品种同异栽培的数学原理 288

第二节 品种同异栽培的计算方法与步骤 288

第三节 品种同异栽培程序设计与流程 289

第四节 品种同异栽培程序类型与功能 291

第五节 品种同异栽培应用实例与上机操作说明 291

 一、品种同异栽培在小麦育种中的应用实例与上机操作说明 291

 二、品种同异栽培在水稻育种中的应用实例与上机操作说明 304

 三、品种同异栽培在谷子育种中的应用实例与上机操作说明 309

 四、品种同异栽培在绿豆育种中的应用实例与上机操作说明 314

 五、品种同异栽培在玉米育种中的应用实例与上机操作说明 320

 六、品种同异栽培在小麦甘蔗育种中的应用实例与上机操作说明 325

第六节 品种同异栽培程序清单 330

主要参考文献 344

第一章 绪 论

同异理论是笔者在 21 世纪初针对作物育种中的同异现象而提出的一种新的定量化育种理论。这种理论一经面世，便勃发出强大的生命力，昭示出美好的应用前景。本章概述了同异理论的产生背景、学术框架和主要研究内容，阐明其在作物育种中的学术地位与作用，同时重点介绍了作物育种智能决策系统的开发流程、主要模块、计算程序，及其在作物育种中的应用与发展前景，期望为作物育种的定量化、信息化和科学化提供一条新途径。

第一节 作物育种同异理论的基本概念

一、同异理论诞生的学术背景

进入 21 世纪初，由于转基因技术的日趋成熟、分子标记辅助选择技术的逐步兴起和基因组学、蛋白质组学技术的日渐渗透，作物育种领域发生了前所未有的深刻变化（Globus et al., 1999；万建民，2006；薛庆中，1999；张天真等，2012），突出表现在育种技术和手段的多样化上。然而，当人们静下心来，与自然科学的其他学科作横向比较时却发现：原来历史悠久的作物育种学至今仍然停留在定性经验阶段，属于定性描述性学科，远不能适应飞速发展的时代步伐。究其原委，主要是作物育种过程涉及大量不确定因素诸如随机不确定因素、模糊不确定因素、灰色不确定因素、中介不确定因素等。而这些不确定因素又远非经典数学所能描述，因此，作物育种的定量化研究迟迟未能列入议事日程。

20 世纪中叶蓬勃兴起的数量遗传研究，曾经给作物育种的定量化带来希望，也取得了令人欣喜的进展。遗憾的是，由于数量遗传对试验设计有严格要求，譬如试验要有重复，试验数据要具典型的概率分布，试验环境要做到局部控制等（莫惠栋，1992）。而这些基本要求在作物育种田间试验中又往往难以满足，使其应用受到极大的限制。正如我们所知道的那样，数量遗传研究擅长的是分析，可以将表现型变异分解为平均数、基因型效应、环境效应、基因型与环境互作效应及误差（ $y=\mu+E+G+GE+e$ ）等几个部分，同时又可进一步将基因型效应分解为加性效应、显性效应、上位性效应（ $G=A+D+AA+AD+DD$ ）等，这些分门别类的剖析对于育种工作无疑是有益的，但对诸多基因如何发挥协同综合作用却无能为力，而作物育种注重的恰恰是诸多育种目标基因的综合作用，这样，就使得数量遗传理论在作物育种中的应用陷入瓶颈怪圈（郭瑞林，2004）。

作物灰色育种理论的诞生为作物育种定量化的研究开辟了一片新天地。因为作物育种过程本身就是一个部分信息已知、部分信息未知的典型的灰色过程，所以用灰色系统理论来描述和解释作物育种过程便顺理成章。自从 1995 年《作物灰色育种学》（郭瑞林著）问世以来，这种理论在作物育种中已得到一定应用。经过十多年的发展，目前已基本形成了以五大体系、八大理论、九个原理、一条技术路线和一个电脑决策系统为基本特色的学术框架，实现了由传统经验育种向定量化育种的跨越。一批小麦、棉花、谷子、绿豆、大豆、豇豆、优质蚕、桑品种的成功培育，从育种实践的角度为这种理论的可行性提供了有力的佐证。尤其是作物灰色育种电脑决策系统的研制（郭瑞林等，2008），更使作物灰色育种理论与方法的广泛应用如虎添翼、风生水起。

然而，作物育种过程和现象的复杂多变，决定了作物育种理论的多元嬗变，仅凭一种理论很难包揽作物育种的丰富内涵。为此，在 21 世纪初，为进一步完善和充实作物定量化育种理论，我们针对作物育种中的同异现象，提出了一种新的理论——同异理论。

二、作物育种中的同异现象

同异现象是贯穿于作物育种过程中的一种普遍现象。众所周知，作物育种首先要制定育种目标，育种目标一经确立，此后育种过程的各个关键阶段或环节无不与其发生联系，某阶段或环节育种对象（如某亲本、杂交组合、单株、品系、或品种等）与育种目标的相同程度越大（或相异程度越小），则育种效果越好，反之亦然。因此，可以说，作物育种过程实质上就是衡量育种对象与育种目标同与异，并从中筛选较优者的决策过程。因为这种育种对象与育种目标同与异相比较、相权衡的过程自始至终无所间断无所更移，因此，我们把这种现象称之为同异现象。

这一现象可以用数学式子 $\mu(W) = a + bi$ 来刻画。其中， $\mu(W)$ 代表育种目标与育种对象的同异联系度； a 代表育种对象与育种目标之间的同一度； b 代表差异度，并遵循 $a + b = 1$ 的约束条件。因为 a 是确定的（可通过一定的数学公式计算得到），因而 b 也是确定的（由 $a + b = 1$ 而定），但两者之间的关系即联系度则依 i 而变，呈现出一定程度的不确定性，即中介不确定性。从辩证的观点来看， a 、 b 两者之间的关系又是对立统一的关系，在一定条件下（依 i 而变），可以相互转化。育种工作者的任务就是调动各种方法和手段，促进差异度 b 向同一度 a 的转化，从而使育种对象与育种目标更加吻合，更加一致（郭瑞林等，2010；郭瑞林，2011）。

同异现象从本质上揭示了作物育种的真谛，使纷纭繁杂的作物育种过程变得简单清晰、一目了然，仅通过同一度和差异度的量化比较，就能确定育种对象的优劣，决定育种对象的取舍，进而培育出符合人类需要的作物新品种。由此可见，同异现象的发现和诊断及同异理论的提出，对于丰富、充实和完善作物育种理论，实现作物育种的定量化具有重要意义。

三、作物育种同异理论及其在作物育种中的学术地位与作用

同异理论源于作物育种中同异现象的发现，指的是运用联系数学原理描述和解释作物育种中的同异现象，用同一度和差异度等参数表述作物育种各个关键阶段或环节育种目标与育种对象之间的关系，并据此作出育种决策，实现作物育种的定量化的一种新理论。

同异理论是继灰色育种理论之后又一个新的定量化育种决策理论。它的提出和应用，有效地克服了传统经验育种的局限性，使得作物育种能够从定量的角度解释和描述作物育种过程各个关键阶段和环节，为育种决策提供可靠的科学依据。其决策关键就在于比较和鉴别育种对象与育种目标的同与异。通过育种目标与育种对象的同异比较，不仅可以分辨育种对象的优劣，决定取舍，而且可以即时明确育种对象与育种目标之间的差距，对现时育种水平有一个整体的了解，从而提醒育种工作者及时调整育种思路，明确主攻方向，并采取相应的育种手段和措施，制定有针对性的育种方案，促进育种工作更好更快地向前发展。

与传统的经验育种相比，一方面，同异理论可以避免育种工作者经验不足而引起的判断失误，即使是育种新手，也能得到育种专家那样的决策水平，从而提高育种效果和育种效率；另一方面，也是更重要的方面，就是它突出表现在可以实现作物育种的定量化，使作物育种学科由定性描述性学科发展成为一门较为精密的学科，这在作物育种理论的研究上将是一个重要突破。因此，有理由认为，同异理论在作物育种中具有传统育种理论不可代替的学术地位与作用。

第二节 作物育种同异理论的学术框架

作物育种同异理论与灰色育种理论一样，都是在常规育种理论的基础上发展起来的新的定量化育种理论（郭瑞林等，2011）。从同异现象的发现，到同异理论的提出，再到育种实践的验证，作物育种同异理论已经走过了十多年的发展历程。迄今为止，其学术框架已初具雏形。大体上可用四个学术构件、七个关键理论、九个基本原理、一条技术路线和一个决策平台来概括。

一、四个学术构件

同异育种理论包括同异联系度、同异联系数、同异联系势和常规育种理论四个学术构件（图 1-1）。

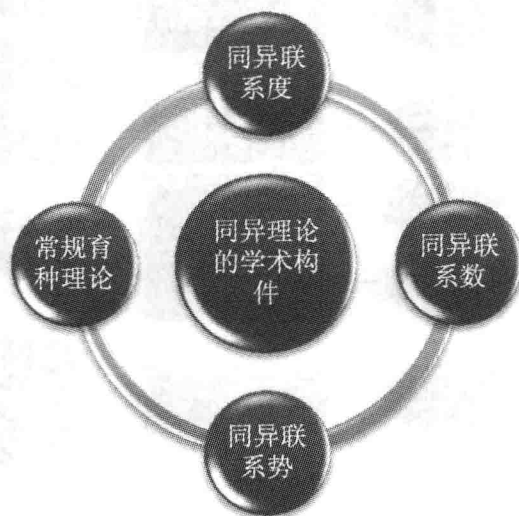


图 1-1 同异理论的学术构件

如前所述， $\mu(W)=a+bi$ 即为同异联系度。同异联系度反映的是育种对象与育种目标之间的联系程度，联系程度越高，则育种对象越接近育种目标，育种效果越好。

同异联系数是由同异联系度这个概念引申而来的，我们称形如 $u=a+bi$ 的数为同异联系数。同异联系度与同异联系数之间既有联系，又有区别。联系在于它们都具有 $a+bi$ 的形式；区别则在于 a 、 b 的含义有所不同：同异联系度中的 a 、 b 受 $a+b=1$ 的约束，而同异联系数中的 a 、 b 则受 $a+b=k$ ， $k \geq 1$ 的约束。但两者之间可以相互转换，条件是 $k=1$ 。

同异联系势则是育种对象与育种目标两个集合在指定问题背景下的联系趋势，通常用 $S(H)=a/b$ 来表示。

常规育种理论诸如遗传、重组、变异、选择等理论显然是同异联系度、同异联系数和同异联系势所描述的育种对象与育种目标之间同异关系所要遵循的规律。

由此可见，同异联系度、同异联系数、同异联系势和常规育种理论四者之间联系密切，缺一不可。其中，前三者是同异育种中最本质的东西，是同异育种的活的灵魂。同异联系度、同异联系数是同异现象中同与异关系的数学表达，同异联系势是对同异现象中同与异关系发展趋势的客观描述，而常规育种理论则是前三者的发展基石和技术支撑。

二、七个关键理论

作物育种过程可以用“定、配、选、比、审、用”六个字来概括，分别表示作物育种过程中的六个不可或缺的关键环节。其中，每一个关键环节都有相应的育种理论作支撑。同异理论作为一种新的量化育种理论，在这六个关键环节有七个理论与之相对应，即：育种目标同异关系分析理论、亲本同异分类理论、杂交组合同异评估理论、单株同异选择理论、品种同异比较理论、品种同异布局理论和品种同异栽培理论等（图 1-2）。因为这些理论分别在特定的育种环节发挥特定的关键指导作用，所以我们将其称之为关键理论。

由图 1-2 不难看出，同异理论育种程序与常规育种程序实质上完全相同，都要经过“定、配、选、比、审、用”六个环节，只不过常规育种在各个育种环节大多依靠育种家的定性经验进行处理和决策，而同异理论则采用数学模型即量化分析方法进行处理和决策，从而使作物育种前进了一大步。

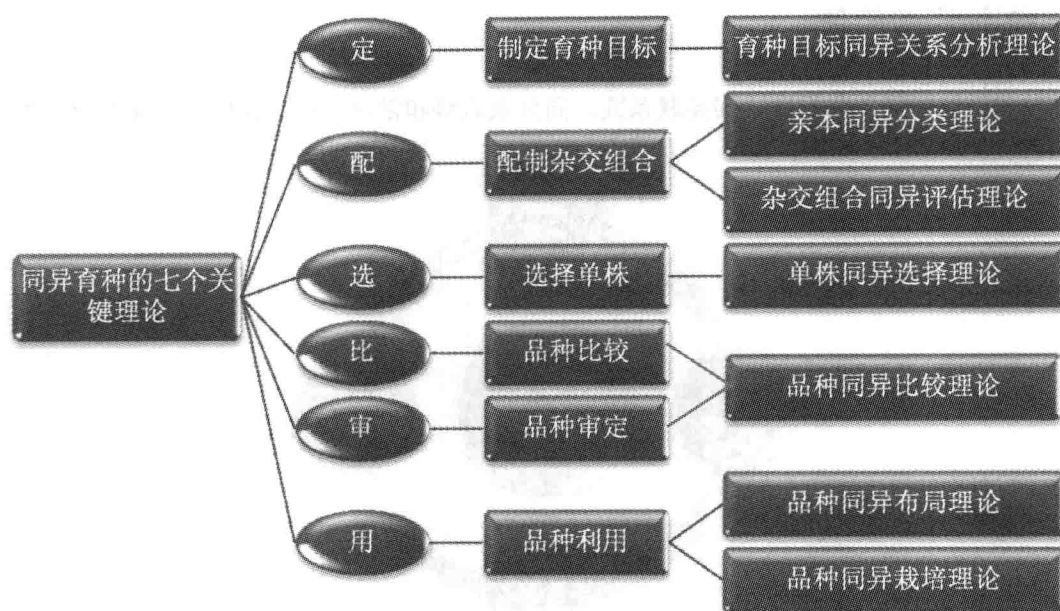


图 1-2 同异育种的七个关键理论

（一）育种目标性状的同异关系理论

即依据同一度，研究育种对象性状与育种目标性状之间的同异关系的一种理论，目的在于确定客观、合理、适宜的育种目标，为育种工作者提供明确的选育方向。

（二）亲本同异分类理论

即通过诸多亲本性状的同异分析，按照同一度的大小对亲本进行分类的一种理论，旨在明确各亲本性状的遗传差异，为配制优良杂交组合提供依据。

（三）杂交组合同异评估理论

即以理想性状为标尺，计算各杂交组合与理想性状的同一度，据此评估杂交组合的优劣的一种理论。通过同异比对，确定重点组合和一般组合。由此决定 F_2 的种植规模。通常，重点组合种植规模可适当扩大，一般组合可适当缩小，实现既节省试验面积又提高选择效率的双重优化。

（四）单株同异选择理论

即通过对田间入选单株诸多性状与育种目标的同异分析，评定单株好坏，决定单株取舍的一种理论。通常将单株分为三等。其中，一等单株为优良单株，保留种植并在以后世代加以重点观察和选择；二等单株为一般单株，保留种植。三等单株则为较差单株，一般舍弃或淘汰。

（五）品种（系）同异比较理论

即以理想品种或对照品种为标准，对品系鉴定试验和品种比较试验中的参试品种进行同异比对的一种理论。目的在于从中筛选综合性状符合育种目标要求的、有望在生产上大面积推广的优良品种（系），为品种的审定推广提供科学依据。

（六）品种同异布局理论

即依据生态学理论和各生态区品种区域试验结果，进行品种生态型同异分析，为经省或国家品种审定委员会审定命名的品种寻求最优的区域性布局决策的一种理论。运用这种理论可以做到种得其所，种适其用，避免品种生态型与推广区域生态条件不一致而造成的决策失误。

（七）品种同异栽培理论研究

即在相似性栽培原理的指导下，对特定生态区待推广品种和已推广品种进行同异分析的一种理论。运用这一理论，可以在一定相似阈值范围内，寻求栽培学特性与待推广品种最为相似（或同一度最大）的已推广品种（亦称相似性品种）。在此基础上，将相似性品种的栽培管理措施与待推广品种相匹配，在待推广品种推广的当年直接实现良种与良法的配套，从而最大限度地发挥品种的增产或升优潜力。

三、九个基本原理

由同异理论的四个学术构件可衍生出九个与生俱来、相辅相成的基本原理，包括：普遍联系原理、不确定原理、灰色性原理、动态性原理、协同性原理、层次性原理、同异配对原理、同异转化原理、信息完整原理等（图 1-3）。



图 1-3 同异理论的九个基本原理

（一）普遍联系原理

客观事物处于普遍的联系之中。部分与部分、部分与整体相联系只不过是客观事物相互联系的一种具体体现。但是，“联系”是一个哲学概念，具有抽象性与宏观性，具体到微观层次上，两个事物间的联系是由具体的、各种各样的关系所组成；关系可以千变万化，但不外乎是两个大类，一类是确定的关系，另一类是不确定的关系，我们借助传统的数学表示方法，通常是客观地刻画了部分与部分、部分与整体的已经确定的数量关系，而没有同时用数学的方法刻画出部分与部分、部分与整体相联系的因种种原因（如信息不足）一时不确定的数量关系。

如图 1-4 所示。整体 W 与部分 P_1 有两种数学关系，一种是大小关系，是图 1-4 中所给条件已经确定的关系。如设图中的整体为 1 个单位，部分 P_1 是 0.15 个单位，我们就用一个确定的数 $0.15/1$ 表示出部分 P_1 与整体 W 的大小关系；另一种数学关系是部分 P_1 与整体 W 的空间位置关系。显而易见， P_1 在整体 W 的内部，这是确定的包含关系，但如果进一步问， P_1 在整体 W 内部的什么位置？这时仅仅根据图 1-4 所提供的信息和已知条件，我们就不能用数字给出确定的位置关系，或者只能“模糊”地说，部分 P_1 在整体 W “有点居中偏左上”，部分 P_2 在整体 W 中“有点居中偏下”，这里的“有点居中偏左上”，“有点居中偏下”都是不确定的、模糊的说法。当我们要根据已知条件完整、全面地刻画部分 P_1 与整体 W 的联系时，我们不得不同时把这两种关系都从数学的角度去刻画出来，不得不引进集对的概念，不得不引进同异联系数 $a+bi$ 。

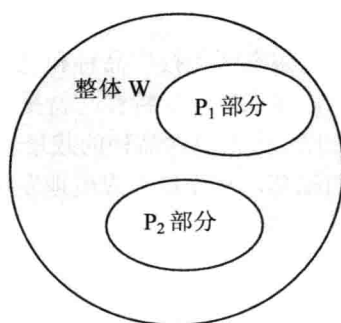


图 1-4 部分与整体的关系（大小关系与位置关系）

同理，我们在已知条件下完整地、全面地刻画部分 P_1 与部分 P_2 的关系时，我们也需要从 P_1 与 P_2 的大小关系和 P_1 与 P_2 的位置关系两个方面给出相应的数学刻画，显而易见， P_1 与 P_2 的大小关系可以从它们的面积大小比确定出来，图 1-4 中的 P_1 与 P_2 大小关系是一种等同关系，0.15 比 0.15 的关系，但 P_1 与 P_2 的相互位置关系也只能说“两者比较接近”、“相离不是很远”、“ P_1 在 P_2 的左上方”这些模糊的、不完全确定的语句。当然，一旦把图中的大圆放到某个直角坐标系中，我们就能够把部分 P_1 在整体 W 中的位置关系、部分 P_1 与部分 P_2 的位置关系完全精确地刻画出来，这一点正好对应于在联系数 $a+bi$ 中给 i 补充信息后可以确定 i 的值。这个例子也说明了，对于部分与部分、部分与整体之间的不确定关系，常常是已知条件不充分、信息不完全造成，因此可以通过补充一些信息，增加一些条件，或者深入一个或几个层次，去做分析，就有可能化不确定为确定。

其实，作物育种诸环节譬如育种目标的制订、亲本选配、杂交组合评估、单株选择、品种比较、品种利用等与作物育种就是“部分”与“整体”之间的关系。它们之间各个部分，环环相扣，密切联系，缺一不可，共同构成作物育种这样一个整体。就像一个流水作业的组装车间，其中任何一道工序的失误，都会殃及全局。因此，在作物育种过程中，要求育种工作者应具有普遍联系和整体观念，时刻注意各个育种环节彼此之间的密切联系，充分发挥它们的整体功能，切不可顾此失彼。同异联系度和同异联系数就是科学处理这种普遍联系观念的数学表达。

普遍联系原理是作物育种当中一个普遍适用的基本原理，故我们称其为同异育种的第一原理。

（二）不确定原理

不确定原理，也称“测不准原理”，原本是物理学中的一个著名原理。历史上，这个原理最早由德国物理学家海森堡于 1927 年提出。该原理表明：一个微观粒子的某些物理量（如位置和动量，或方位角与动量矩，还有时间和能量等），不可能同时具有确定的数值，其中一个量越确定，另一个量的不确定程度就越大。测量一对共轭量的误差的乘积必然大于常数 $h/2\pi$ （ h 是普朗克常数）。“测不准原理”反映了微观粒子运动的基本规律，是量子力学的一个基本原理，也是现代物理学的一个重要原理。在科学研究领域，人们把海森堡的“测不准原理”称为“不确定原理”。

那么，海森堡的“测不准原理”与同异育种又有什么关系？难道同异育种中涉及的不确定性是与这个“不确定原理”相通的吗？回答当然是肯定的。这只要注意到“测不准原理”是针对微观层次上的粒子而言便很容易理解。但从广义上看，“个体”相对于“全体”，“部分”相对于“整体”，“基因”相对于“表型”恰好处于微观层次。从这个意义上说同异育种中的不确定性确有其物理意义，这个物理意义就是海森堡的“测不准原理”。

事实上，就认知而言，微观纯粹是相对于宏观而言的一个概念。类似于前面的“整体是宏观，部分是微观”之说，在作物育种中还有，单株是宏观，细胞是微观；表型是宏观，基因是微观；如此等等，这就意味着当把作物育种过程在宏观层次上的表现与微观层次上的表现相联系作全局性考虑时，不可避免地存在不确定性。也就是说，在宏观层次上被认为是确定的东西，在微观层次上则可能又是不确定的。在不确定逐步转化为确定的同时，原先确定的东西同时在转化为不确定。我们的任务是：通过掌握这两个转化（不确定逐步转化为确定，确定又转化为不确定），来达到我们的目的，来创造科学的奇迹。因此，前面说的

海森堡的“测不准原理”也可以称为是“系统不确定原理”或“全局不确定原理”。这一重要的科学原理，在同异联系度或同异联系数中也起着重要的作用，因此，我们称其为同异育种的第二原理。

（三）灰色性原理

作物育种过程本身构成一个系统。这个系统的一个十分明显的特点就是待认识对象的许多特性朦胧不清，若明若暗。从信息论的角度讲，则表现为部分信息已知，部分信息未知，或称信息不完全。亦即是说，这是一个典型的灰色系统。正是由于这种灰色性，才使得育种对象与育种目标之间的同与异呈现出确定与不确定并存的状态。当未知信息逐步明确，不确定因素逐步减少，不确定性也便逐步转变为确定性，育种对象与育种目标相异的部分也便逐步转变为相同的部分，从而达到培育优良新品种的目的。从这个意义上讲，作物育种过程也可以理解成是一个将灰色性逐步白化的过程，或不确定性转变为确定性的过程，或育种对象各性状与育种目标性状由异变同的过程。因此，我们称灰色性原理为同异育种的第三原理。

（四）协同性原理

作物育种过程中，各种亲本材料的基因重组需要协调同步。就是说，衡量作物育种工作的成功与否，并不仅仅取决于某一亲本材料（或某一基因）的优劣，而是取决于亲本组配之后各种性状（基因）诸如丰产性、抗病性、早熟性、优质性等协调利用的好坏。协同性越好，育种水平越高。因此，在作物育种工作中，特别强调综合性状（基因）的表达，强调多个性状（基因）的协同作用。这种协同性原理称为同异育种的第四原理。

（五）动态性原理

作物育种理论与方法需要不断补充、完善和发展，育种目标需要不断调整、改进和提高。这是市场、生产和生态条件不断变化的必然结果。因此，作物育种过程是一个动态的而不是静态的过程。育种工作者必须用辩证的和发展变化的观点，去认识、看待和解决育种过程当中存在的各种现象和问题。惟其如此，才能在群雄角逐和竞争的育种前沿阵地高视阔步，掌控全局，独领风骚。因此，动态性原理称为同异育种的第五原理。

（六）层次性原理

育种认识是主体（育种工作者）对客体（育种对象）的反映，它是有条件的、近似的，是逐步深入的过程。由于主客观条件的限制，育种认识总是在特定的背景下停留在特定的某一层次上，它不可避免地具有不彻底性和不完全性。因而对育种信息分类后，通常相对于确定性信息的提取和分离，必然遗留下未知的或者说认识和描述所不及的一部分不确定性信息，暂时成为认识在现实水平上对育种对象的认知盲区。这是主体认识的又一种相对性，即认识层次的相对性，它反映了主体（育种工作者）与客体（育种对象）间的本质矛盾。正是承认了这种矛盾的客观存在，同异理论从辩证思维的立场上通过联系度的刻画，使育种工作者的主观认识向现实又推进了具有重要意义的一步。

与此同时，层次性还表现在育种主体（育种工作者）对客体（育种对象）认识的不同层次上。正如中国人工智能学会原理事长涂序彦教授指出的那样：“世界是不确定性与确定性的矛盾统一体。各种系统、各种事物，在某种条件下、某种层次上，体现出不确定性；而在另一种条件下、另一种层次上，体现出确定性。因此，如何运用对立统一的观点，从整体和全局上研究不确定性和确定性，是有待探讨的重要问题。”作物育种是一个系统过程，其中充满着许多确定性或不确定性问题。譬如有两个小麦品种，田间试验产量分别为 $9826\text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $9865\text{kg}/\text{hm}^2$ ，在宏观层次即表现型上，我们可以认为它们的产量是不同的，这是确定的；但如果从微观层次即分子或基因水平上考虑，则既可能是相同的，也可能是不同的，亦即是说是不确定的。因为两个品种之间控制产量表现的基因可能是相同的，也可能是不同的。之所以在表现型上有差异，可能是由于环境因素诸如施肥、浇水等多种因素的影响造成的。相反地，如果这两个小麦品种田间试验产量相同，均为 $9826\text{kg}/\text{hm}^2$ ，那么，在宏观层次上，我们可以认为这两个品种是相同的，这是确定的；但在微观层次上我们却未必能判断是否真的相同即是不确定的。诸如此类的确定不确定问题在作物育种过程中比比皆是，同异育种理论就是为着解决这些问题而提出来的。

因此，只有通过层次的展开，我们才能把握不确定性中的确定性。育种工作者对育种对象的认识充分

体现了这种层次性。譬如 20 世纪 80 年代初以中产水平为主要育种目标的提出，到 80 年代中后期以高产水平为主要育种目标的实施，继之 90 年代品质育种的兴起，直到目前超级品种育种和分子育种、设计育种的风行，无不反映了育种工作者在不同阶段或层次的认知程度，从而推动育种工作的不断发展和育种水平的不断提升。

由此可见，层次性原理在作物育种过程中不仅重要而且必要。因此，我们称其为同异育种的第六原理。

（七）同异配对原理

同异配对原理指的是作物育种过程中育种对象与育种目标之间总是以同异配对的形式存在着。例如，产量的高与低、穗子的大与小、病虫害的抗与感、穗粒数的多与少、生育期的早与晚、抗逆性的强与弱、育种对象与育种目标的同与异等，不一而足。正是由于同异配对原理的制约，以至于我们在一般意义上评价某一育种对象时，同时在有意无意地拿与该育种对象配对的另一对象（理想对象或育种目标）作参考。如我们说某个品种是优良品种时，同时在有意或无意地拿与其相异的一个或一些品种作参考。在一定育种目标框架下，两个品种相比较时，有相同的一面，必然也有相异的一面。说明育种对象与育种目标（或者说对育种对象的认知）无不是矛盾的统一体。对立的双方每一方都映现在它的对方内，正是由于对方的存在，它自己才存在，以至于我们事实上无法去孤立地认识和研究同异配对对象中（如某单株或某品种）的某一个对象，而只能从同异配对的两个对象之相互联系、相互影响、相互渗透、相互制约的过程中去认识和把握其中任一单个对象的有关表现和规律。

从哲学的观点看，同异配对原理无非是关于“对立统一法则”、“事物相互联系原理”的一种新的表述，因此，严格地说，同异配对原理是联系原理的一个派生原理，之所以单独列出，一是与哲学上的对立统一规律相对应，二是由同异配对原理直接导出了集对的概念和同异联系数，三是同异配对原理与育种工作的主体育种工作者的形体构造密切相关，看看我们身体上的感官——两只眼睛、两只耳朵、两个鼻孔、两只手，两条腿，无一不是配对地存在，配对地去感知育种环境和育种世界。因而在同异育种中，称同异配对原理为同异育种的第七原理。

（八）同异转化原理

作物育种过程中，育种对象与育种目标的同异双方在互相联系的统一体中呈现相对性，在一定的条件下可以实现相互转化。一般，当 i 取正值时，向同的一方转化，而当 i 取负值时，则向异的一方转化。 i 在什么时候取正值，什么时候取负值，则取决于育种工作者对育种对象的认知程度。育种工作者的最初任务和最终目的就是实现育种对象各性状与育种目标各性状由异向同的转化。因此，同异转化原理称为同异育种的第八原理。

（九）信息完整原理

作物育种及其过程是联系着的统一体，因而相对于育种对象信息（宿信息），对其认识和处理也应是完整的。同异理论采用分析与综合相结合的方法，分别作确定性与不确定性，同一性和相异性两个层次的刻画，从而避免了片面性，保证了信息的完整性。同异理论认为认识是主观和客观的统一，基于某种原理和方法的信息处理是生成信息的过程，这一过程及其所形成的认识关于育种对象信息应是（基于认识模式而言）相对完整的。在同异理论看来，信息无论确定性与否，都是有用信息。育种认识正是在这一信息整体中把握育种对象和自身。由此形成了同异育种理论认识育种问题的独特思路：即以育种对象（如亲本、杂交组合、单株或品种等）为出发点，采用分析与综合的方法，分别作关于同与异或确定性与不确定性两个层次的描述或刻画，从育种对象的考察数据中提取相对的确定性信息，并且承认和考虑对应于这种刻画的相对不确定性，这样，在分离提取信息的同时便保证了信息的完整，避免了片面性。基于这一思路，也便形成了同异育种理论解决或处理育种问题的独特风格：或者先由相对确定性信息得到分析结果，然后再考虑相对不确定性信息的可能影响，寻找同异双方相互转化的途径和可能性，进一步作相对确定性结果的稳定性分析；或者直接运用同异联系数进行运算，得到包含有确定性信息和不确定性信息的分析结果。

总之，同异理论集中体现了认识论中的辩证法，它的核心思想是以主观（育种工作者）和客观（育种对象）为基础，面对现实，承认矛盾，把育种过程视为一个确定不确定系统，从而辩证认识和整体刻画该

系统中所蕴含着的对立统一关系，以实现育种信息的完整有效的分类与处理。正因如此，所以信息完整原理被认为是同异育种的第九原理。

上述九个原理来自于作物育种实践，来自于对作物育种实践中存在着的同异现象的研究和思考，并经过多次由此及彼、由表及里的提炼和加工，以及去粗取精、去伪存真的概括和总结，已经上升到理性认识的层面。因此，在进行同异育种分析和决策的过程中，无疑具有十分普遍的指导意义。育种工作者应当将其作为基本纲领和方针，自觉地用于指导育种实践，同时在育种实践中加以验证，从中发现问题，并在解决问题的过程中不断充实、完善和提高，使之日臻成熟。惟其如此，才能有效地开展作物育种工作，提高育种水平，促进育种学科的迅猛发展。

四、一条技术路线

在运用作物育种同异理论指导新品种选育的过程中，逐步形成了一整套不同于传统经验育种的技术路线。这条技术路线如图 1-5 所示。

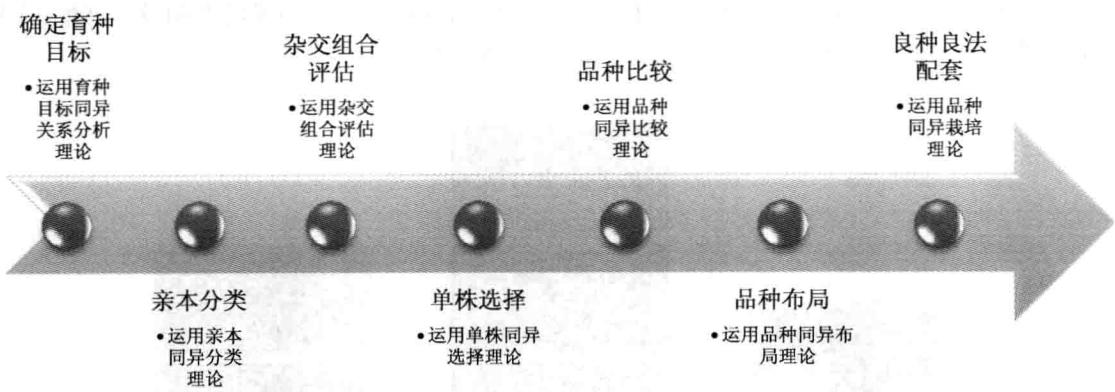


图 1-5 作物同异育种技术路线

上述技术路线自成体系，别具一格，在同异理论与作物育种实践之间架起了一座通向成功的桥梁。它在育种实际工作中的广泛应用，对于克服传统经验育种的局限性，实现作物育种的信息化、定量化和科学化，无疑具有划时代的意义与作用。

五、一个决策平台

如前所述，同异理论具有传统经验育种不可替代的地位与作用，所以在作物新品种选育过程中大力推广应用该理论便显得十分必要。虽然育种决策过程中牵涉到的数学运算并不复杂，但育种材料成千上万，处理起来却相当麻烦，这样无形中便限制了该理论在育种实际工作中的应用。显而易见，如何使繁琐耗时的数学运算变得快捷有效已成为摆在我们面前的一个不容忽视的重大课题。为此，2009 年以来，我们以 Java 技术为支撑，以 Eclipse 为开发平台，研制出了作物同异育种智能决策系统（郭瑞林等，2012）。

该系统囊括了从育种目标制定、亲本选配、杂交组合评估、单株选择、品种（系）比较、品种布局到良种良法配套等一系列环节所用到的同异理论计算程序，从而为育种工作者提供了一种快捷有效的决策平台，即使是育种新手，也能达到育种专家那样的决策水平，困扰人们多年的判断欠准、决策失误、取舍犯难、举棋不定等问题从此再也不会棘手难缠、令人生畏了。

正是由于上述显在的和潜在的巨大优势，才使得该系统“风景这边独好”，具有广阔的应用前景。目前，该系统在一些育种单位试用，其快捷、方便、科学、实用、准确、有效的应用风格，已博得诸多育种