

作物科学研究



作物表型研究方法

张文英 李承道 等 编著



科学出版社

作物表型研究方法

张文英 李承道 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统介绍了定量化采集各类作物表型性状的原理、方法、手段、指标、国内外主流仪器设备与设施。全书共 13 章, 主要包括科学研究方法概述、试验设计与群体构建、盆栽试验、试验材料采集保存和测定、根系及根际研究、生长分析、群体结构研究、品质检测、矿质营养元素检测、种子相关性状检测、非生物逆境抗性鉴定、病虫害抗性鉴定等方面的研究方法, 及作物表型研究中的影像技术等。

本书可作为作物科学研究人员的参考书, 也可作为作物学专业研究生作物科学研究法课程的教材或参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

作物表型研究方法/张文英等编著. —北京: 科学出版社, 2017.2
ISBN 978-7-03-051245-1

I. ①作… II. ①张… III. ①作物—遗传—研究方法 IV. ①S33-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 299968 号

责任编辑: 王 静 李 迪 / 责任校对: 杜子昂 高明虎
责任印制: 张 伟 / 封面设计: 刘新新

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

*

2017 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 2 月第一次印刷 印张: 28 3/4

字数: 680 000

定价: 168.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《作物表型研究方法》编辑委员会

主 编：张文英 李承道

副 主 编：周美学 许如根

编写人员（按姓氏拼音排序）：

曹方彬 戴 飞 顾骏飞 贺小彦

胡 晋 李承道 马东方 田应兵

王歆珂 吴 楚 吴洪洪 武美燕

熊勤学 徐 乐 徐延浩 许如根

曾凡荣 张国平 张建民 张文英

张祖建 周高峰 周美学 朱 敏

前 言

表现型指具有特定基因型的个体在一定环境条件下表现出来的性状特征的总和,如生物量、生育期、叶部性状、根系性状、种子性状、光合作用、产量性状、品质性状、营养性状、病虫害抗性、非生物逆境抗性等。表型性状采集是作物科学研究必不可少的工作内容。现已明确,大部分农艺性状、经济学性状是由多基因控制的复杂性状,易受环境影响。近年来,自动化、高通量测序、芯片、分子标记技术的飞速发展,使得基因型数据的获取成本降低、周期变短、商业化程度提高。相比之下,表型性状采集的准确性、自动化、非损伤和高通量已成为制约作物机理研究、分子育种发展的瓶颈。遗憾的是,与表型性状采集有关的研究方法要么散布在诸多的专著、论文中,要么以检测项目形式呈现于实验指导书中,偏重于操作过程和技能知识的介绍,而忽略了对研究思路的阐释和对研究体系整体性和完整性的把握。

科学研究离不开科学研究方法。科学研究方法有哲学方法、一般研究方法和特殊研究方法三个层面。本书对一般研究方法仅简单述及,着重从特殊研究方法层面介绍作物表型研究中涉及的研究方法。在内容组织上,力求全面性和系统性,重点介绍量化采集表型性状的原理、方法、手段、指标,界定方法适用范围及性状检测中用到的国内外主流仪器设备与设施,尽可能提供图表资料和重要参考文献。行文中,除了一些最新的或者特别重要的内容外,一般不采用实验指导书的范式陈述具体操作过程。

全书共 13 章。第一章简要介绍科学的类型、特点、程序和一般方法,由张文英、李承道执笔;第二章阐述了作物试验的设计原则与要求、常用试验设计方法、遗传交配设计及定位作图群体,由张文英执笔;第三章系统介绍了作物土壤培养、溶液培养、砂砾培养的研究方法,由田应兵执笔;第四章论述了作物试验材料取样、处理、保存方法及测定的基本原则,由徐乐、武美燕执笔;第五章探讨了根系构型和伸长速率研究方法、根形态学和解剖学参数、根际和根分泌物研究方法,以及根中与根际分泌活动相关的酶实验方法,由吴楚执笔;第六章论述了个体、群体生长分析,物质生产的数量分析,生物产量与经济产量,生产力估算,作物物候学调查的研究方法,由张祖建执笔;第七章从群体结构角度阐述了开展作物形态与生理、光合作用、生长模型构建等方面的研究方法,由顾骏飞执笔;第八章介绍了作物品质的目测、品尝、化学分析及物理检测分析的基本研究方法和标准,由许如根、徐延浩执笔;第九章阐述了作物矿质营养元素的常规检测方法,以微电极离子流检测技术为主介绍了近年日益受到关注的作物细胞跨膜离子运动的非损伤检测方法,由武美燕、曾凡荣执笔;第十章介绍了包括种子形态和重量、种子发芽、种子活力、种子净度和种子水分等种子相关性状的测定方法,由胡晋执笔;第十一章介绍了干旱、湿害、高温、低温、盐碱、重金属、酸铝等非生物逆境抗性鉴定方法,由张国平、周美学、戴飞、徐乐、贺小彦、朱敏、吴洪洪、周高峰、曹方彬、王歆珂执笔;第十二章陈述了作物病虫害抗性鉴定方法,由马东方、张建民执笔;第十三章介绍了作物表型研究中常用的数字图像技术、数字图像预处理方法、常用的数字图像

分析方法、常用图形软件，以及近年研制出的高通量植物表型平台，由熊勤学、张文英执笔。全书由张文英、李承道统稿，由田小海审稿。

本书编著过程中，上海泽泉科技股份有限公司提供了部分图片资料，长江大学作物学湖北省省级重点学科、绿色农业湖北省优势特色学科群提供了经费资助，李胜杰参加了校对工作，科学出版社给予大力支持。在此，向所有对本书编著、出版给予支持和帮助的个人和机构表示衷心感谢！

编著者

2016年9月

目 录

第一章 科学研究方法概述.....	1
第一节 科学研究概述.....	1
一、科学与研究的关系.....	1
二、科学研究的类型.....	2
三、科学研究的特点.....	5
第二节 科学研究的程序.....	6
一、科学研究的基本程序.....	6
二、研究生开展科学研究的一般程序.....	8
三、研究生科研创新能力的培养.....	13
第三节 获取科学事实的基本方法.....	16
一、调查.....	16
二、观察.....	18
三、实验.....	20
主要参考文献.....	22
第二章 试验设计与群体构建.....	23
第一节 作物试验的设计原则与要求.....	23
一、作物试验的类型.....	23
二、田间试验设计的基本原则.....	23
三、试验设计的基本要求.....	24
四、试验处理的设置.....	25
五、试验地的选择.....	25
六、小区技术.....	26
七、重复的次数及排列.....	27
八、保护行的设置.....	28
第二节 常用试验设计.....	28
一、成组比较.....	28
二、成对比较.....	29
三、完全随机设计.....	29
四、随机区组设计.....	29
五、拉丁方设计.....	30
六、裂区设计.....	30
七、正交设计.....	31
第三节 遗传群体构建.....	33

一、遗传交配设计.....	33
二、作图群体构建.....	37
主要参考文献	41
第三章 作物盆栽试验研究方法.....	42
第一节 盆栽试验研究方法的特点与种类.....	42
一、盆栽试验的特点.....	42
二、盆栽试验的种类.....	43
第二节 土壤培养研究方法.....	43
一、土培试验的任务.....	43
二、土培试验方法.....	44
三、土培试验的管理.....	47
第三节 溶液培养研究方法.....	49
一、溶液培养研究的特点和任务.....	49
二、营养液的配制原则与依据.....	49
三、常用营养液种类.....	51
四、营养液的配制.....	58
五、溶液培养的实施与管理.....	60
第四节 砂砾培养研究方法.....	62
一、砂砾培养的特点与任务.....	62
二、砂砾培养的准备.....	63
三、砂砾培养的实施与管理.....	65
主要参考文献	67
第四章 试验材料的采集、保存和测定.....	68
第一节 试验材料取样方法.....	68
一、原始样品采集常用方法.....	68
二、平均样品的取样方法.....	73
第二节 试验材料处理和保存方法.....	75
一、植物组织材料的处理与保存方法.....	75
二、土壤和水体样品的处理与保存方法.....	79
第三节 试验材料测定原则.....	81
一、准确度和误差.....	81
二、精确度和偏差.....	81
三、误差来源及减少误差的办法.....	82
主要参考文献	85
第五章 作物根系及根际研究方法.....	86
第一节 根系构型和伸长速率研究方法.....	86
一、根系构型研究.....	86
二、根系伸长速率测定.....	90
第二节 根形态学和解剖学参数.....	92

一、根形态学的测量参数.....	92
二、根解剖学参数测定.....	98
三、根系发育研究和相关研究中常用的一些特殊实验材料.....	101
四、根生理生态学参数.....	104
第三节 根际和根分泌物研究方法.....	109
一、根分泌物收集装置.....	111
二、稳定同位素标记装置.....	115
三、根际和根分泌物研究的实验方法.....	118
第四节 根中与根际分泌物活动相关的酶实验方法.....	126
主要参考文献.....	126
第六章 作物生长分析方法.....	131
第一节 个体、群体生长分析.....	131
一、个体生长与群体生长的关系.....	131
二、个体生长的分析项目及方法.....	132
三、群体生长状况的分析.....	135
四、群体生长分析的数字化方法.....	141
五、作物生长曲线及其生长指标.....	142
第二节 物质生产的数量分析.....	145
一、物质生产的实质及其在作物生长分析中的重要意义.....	145
第三节 生物产量与经济产量.....	147
一、作物产量的概念.....	147
二、生物产量与经济产量的关系.....	148
三、理论产量与实际产量.....	149
四、产量分析的基础理论.....	150
五、产量测定的方法与实例.....	152
第四节 生产力估算.....	155
一、生产力形成的基础及其理论测算.....	155
二、植物的初级生产力及其衡量指标.....	156
三、影响作物生产力的限制因子分析.....	156
四、作物生产力的遥感及其分析技术.....	160
第五节 作物物候学调查.....	161
一、作物物候学的概念.....	161
二、作物的发育特性.....	164
三、作物物候学调查和分析方法.....	168
四、气候变化对作物物候的影响.....	171
主要参考文献.....	172
第七章 作物群体结构研究方法.....	174
第一节 形态与生理.....	174
一、叶片形态与生理指标.....	174

二、茎鞘结构与功能.....	177
三、茎秆与节解剖结构与功能.....	177
四、冠层形态与生理.....	177
五、分析方法与技术.....	180
第二节 光合作用.....	198
一、光合作用概述.....	199
二、气体交换技术和叶绿素荧光分析.....	202
三、光合模型分析.....	208
四、冠层热力学分析技术.....	211
五、冠层光谱分析.....	215
六、冠层光合模型.....	221
第三节 群体结构与功能分析方法.....	223
一、作物生长模型.....	223
二、虚拟作物模型.....	229
主要参考文献	235
第八章 作物品质检测方法.....	238
第一节 作物品质性状的分类.....	238
一、外观品质.....	238
二、加工品质.....	238
三、营养品质.....	239
四、食味品质.....	239
五、贮藏品质.....	240
六、卫生安全品质.....	240
第二节 作物品质的目测法.....	240
一、外观品质目测法.....	240
二、剖面品质目测法.....	241
三、染色目测法.....	241
第三节 作物品质的品尝法.....	241
一、稻米蒸煮食用品质感官评价与品种等级评价.....	241
二、小麦烘烤蒸煮品质分析.....	245
三、烟草评吸品质分析.....	255
第四节 化学分析方法.....	258
一、蛋白质测定.....	258
二、脂肪测定.....	259
三、淀粉、纤维素及膳食纤维测定.....	261
四、次生代谢物的分析.....	266
五、烟草安全性分析.....	267
六、烟草和烟气中的有害化学成分.....	267
七、农药残留.....	268

第五节 物理检测方法.....	269
一、淀粉糊化特性测定.....	269
二、NIR 检测法.....	269
三、MIR 检测法.....	270
四、核磁共振检测法.....	270
五、棉花纤维品质 HVI 大容量测试仪.....	271
主要参考文献.....	273
第九章 作物矿质营养元素检测方法.....	274
第一节 作物矿质营养元素的种类及重要功能.....	274
一、作物矿质营养元素的种类.....	274
二、作物必需矿质营养元素的重要功能.....	275
第二节 作物矿质营养元素的常规检测方法.....	277
一、氮、磷、钾的检测方法.....	277
二、钙、镁、硫的检测方法.....	283
三、微量营养元素的检测方法.....	288
第三节 作物细胞跨膜离子运动的无损检测检测方法.....	294
一、无损离子流检测的发展与应用.....	294
二、MIFE 实验原理.....	296
三、MIFE 系统的硬件及配件组成.....	298
四、MIFE 操作流程.....	300
五、MIFE 的应用方案举例.....	306
主要参考文献.....	307
第十章 种子相关性状检测方法.....	309
第一节 种子形态和重量测定.....	309
一、种子形态测定.....	309
二、种子重量测定.....	313
第二节 种子发芽测定.....	316
一、发芽试验设备和用品.....	316
二、发芽试验方法.....	319
第三节 种子活力测定.....	329
一、种子活力测定方法分类.....	329
二、常用种子活力测定方法.....	330
第四节 种子净度测定.....	337
一、种子净度测定.....	337
二、其他植物种子数目测定.....	350
第五节 种子水分测定.....	351
一、种子水分测定的影响因素.....	352
二、种子水分测定方法.....	353
主要参考文献.....	357

第十一章 作物非生物逆境抗性鉴定方法	358
第一节 作物非生物逆境的类型	358
一、干旱胁迫	358
二、涝渍胁迫	358
三、高温胁迫	359
四、低温胁迫	359
五、盐碱胁迫	359
六、酸铝胁迫	360
七、重金属胁迫	360
第二节 作物抗旱性鉴定	360
一、作物对干旱的适应方式	361
二、作物抗旱机理	361
三、干旱胁迫试验的处理方法	363
四、作物抗旱性鉴定指标	364
五、作物抗旱性综合评价方法	366
第三节 作物涝渍胁迫抗性鉴定	367
一、涝渍胁迫发生的生理机制	367
二、涝渍胁迫抗性的鉴定方法	368
三、涝渍胁迫抗性的鉴定指标	369
第四节 作物的高温抗性鉴定	370
一、高温对作物的危害	370
二、作物对高温胁迫响应机理	370
三、作物抗热性鉴定方法	371
第五节 作物的低温抗性鉴定	373
一、低温对作物的危害	373
二、作物低温抗性的生理机制	374
三、低温抗性的鉴定方法	374
第六节 作物抗盐性鉴定	375
一、作物盐害胁迫简介	375
二、抗盐性鉴定方法	376
第七节 作物酸铝抗性鉴定	378
一、酸性土壤的分类	378
二、酸性土壤对植物生长的毒害	378
三、作物抗酸铝的机理	379
四、作物酸铝抗性的鉴定方法	379
五、作物酸铝抗性的评价指标	380
第八节 作物重金属抗性鉴定	381
一、重金属对作物生长的毒害	381
二、作物抗重金属的机理	381

三、作物重金属抗性的鉴定方法及指标	382
主要参考文献	384
第十二章 作物病虫害抗性鉴定方法	390
第一节 作物抗病性鉴定	390
一、作物抗病性鉴定方法	390
二、植物抗病性的主要类型	393
三、作物抗病性鉴定的接种技术	394
第二节 作物抗虫性鉴定	395
一、作物抗虫性原理	395
二、作物抗虫性的主要类型	396
三、影响作物抗虫性的因素	398
四、作物抗虫性鉴定和筛选的方法	399
主要参考文献	402
第十三章 作物表型研究中的影像技术	404
第一节 数字图像	404
一、图像与数字图像的概念	404
二、数字图像的基本特点及其在表型研究中的作用	404
三、数字图像的类型	405
第二节 数字图像预处理	409
一、数字图像的几何校正	409
二、辐射校正	411
三、二值化处理	412
四、图像滤波	413
第三节 常用的数字图像分析方法	414
一、基于作物光谱特征的图像分析方法	414
二、基于数学形态学的作物形态指标提取的数字图像技术	426
第四节 作物表型研究图形软件 Image-Pro Plus 介绍	429
第五节 植物表型平台	435
一、台式表型成像系统	436
二、便携式表型平台	437
三、实验室型高通量表型平台	437
四、温室型高通量表型平台	439
五、田间固定式高通量表型平台	441
六、移动式表型平台	441
主要参考文献	442

第一章 科学研究方法概述

科学研究有其固有的特点、规律，科技创新离不开科学研究方法的指导。明确科学研究的概念、特点，掌握科学研究的基本程序，熟悉获取科学事实的基本方法，对于有效开展科学研究意义重大。

第一节 科学研究概述

一、科学与研究的关系

（一）科学的概念与分类

人类在认识自然、改造自然、研究自然规律及社会规律的过程中，一直在探求科学的本质，因此，科学（science）的含义随着历史的发展而发展和变化。目前，我们对科学这一概念可从广义和狭义两个方面进行理解。广义的科学包括自然科学、人文社会科学和思维科学，可以定义为人类对客观世界包括自然、社会、思维等现象的正确认识，是反映客观事实和规律的系统化和理论化的知识体系。狭义的科学仅指自然科学。

根据不同的标准可以把科学分成不同的类别，主要可做如下划分。

1) 根据研究对象的不同，可分为自然科学、人文科学和社会科学。

2) 根据学科群，可分为物理科学群、生理科学群、心理科学群、数理科学群和事理科学群等五大科学群。

3) 根据各门科学在整个科学体系中的职能、地位的不同，可分为基础科学、技术科学和生产科学。其中基础科学的研究成果是整个科学技术的理论基础；技术科学亦称应用科学，以基础科学为指导；生产科学亦称工程科学，以技术科学为直接理论基础。

（二）研究的含义及特征

“研究”一词在英语中有两个层面的表达，一是“research”，源自中古法语，意思是彻底检查，以高层次、原创性研究为主；二是“study”，属模仿性、学习性探究。前者侧重对未知领域和知识的创新性，后者更多体现对前人知识的继承性。古往今来，不同的学者对研究给出了不同的定义，概括而言，研究是以系统的、规范的、实证的方法获取新的、可靠的科学知识的一种活动。

研究作为人类的一种高级活动，具有以下基本特征：①研究需要借助科学的方法加以实施，科学的研究方法是开展研究活动的前提和基础；②研究要立足于事实和实践，以事实为依据，引入实证的精神，坚持“从实践中来，到实践中去”；③研究需要创立理论、验证理论、运用理论；④研究是一个系统的、有规则的、规范化的过程；⑤研究是一项持久性的长期工作；⑥研究需要创新，创新是研究的生命和灵魂。

（三）科学与研究的关系

科学与研究紧密相关，因此人们习惯将这两者统称为“科学研究”。细分开，前者是研究的结果，后者是科学产生的过程，它们体现的是同一事物的两个方面，即行为与结果的关系，在动态发展过程中，两者的密切联系主要体现在以下三个方面。

1) 科学为研究提供可靠的知识工具。前人研究获得的科学知识是后来人从事研究的重要参考和依据。

2) 研究为科学积累可靠的知识，推动科学发展。后续的研究不断充实和完善知识体系，甚至是填补前人研究的空白，从而推动科学向前发展。

3) 研究可检验现有科学的有效性和可靠性。研究活动具有特定的时代背景，需要后人运用最新的条件和材料对前人的理论进行有效性和可靠性检验。

二、科学研究的类型

科学研究简称科研，国际上也习惯用“研究与开发”(research and development, R&D)来表示。美国资源委员会将科学研究定义为“科学领域中的探索，包括对已经产生知识的整理、统计，图表及其数据的收集、编辑和分析工作”。我国教育部对科学研究的定义是：为了增进知识，包括关于人类文化和社会的知识，以及利用这些知识去发明新的技术而进行的系统的创造性工作。如前所述，科学研究活动有两种类型，其一是整理知识，即对已有知识进行分析整理，使其规范化、系统化，是知识继承的实践活动；其二是创造知识，即创新、发现和发明，是探索未知事实及其规律的实践活动，两者相辅相成，不可分割。

根据研究的用途、研究性质、研究方法等方面不同，可将科学研究分为不同的类别，主要有以下几类。

（一）按照研究的用途分类

按照研究的用途，可将科学研究分为基础研究、应用研究和开发研究三类。

1. 基础研究

基础研究(basic research)是基于自然或者社会中的事实本身来研究一个专业领域的基础事实之间的关系，即创立理论，属于理论或者学科性研究。一般地，基础研究又可分为纯基础研究和应用基础研究。纯基础研究侧重于探索自然和社会规律，追求新发现、新发明，创立新学说，积累科学知识，为人类认识世界、改造世界提供基础理论和方法。应用基础研究侧重于针对某一特定的实际目的，主要为获得应用原理性新知识而开展的创造性研究。2000年召开的全国基础研究工作会议上指出，我国基础研究工作包括三个方面：以认识自然现象、揭示客观规律为主要目的的探索性研究工作；以解决国民经济和社会发展及科学自身发展提出的重大科学问题为目的的定向性研究工作；对基本科学数据、资料和相关信息系统地考察、采集、鉴定，并进行评价和综合分析，以探索基本规律的基础性工作。

2. 应用研究

应用研究（applied research）是运用基础研究成果和有关知识，来创造新产品、新方法、新技术、新材料的技术基础、技术应用，以及解决社会实践中存在的具体问题的研究。

3. 开发研究

开发研究（research on development）是以实现或者推广某些在应用研究的试验、试制、设计、规划阶段所产生的成果转变为产品和社会现实为目标，进一步进行中间（扩大）试验，如类型设计、小批量试生产、决策咨询等类别的研究，是介于科研与生产之间的过渡阶段和中间环节。

基础研究、应用研究和开发研究相互关联、相互补充、相互促进，基础研究为应用研究提供理论依据和指导，应用研究不断为基础研究提出新的课题和提供大量材料与实践基础，开发研究在应用研究基础上实现新产品、新工艺等，使之商品化、实用化。三者之间的区别与联系详见表 1-1。

表 1-1 基础研究、应用研究和开发研究的比较

内容	基础研究	应用研究	开发研究
研究目的	扩大科学知识范围，建立理论体系	以技术为目标，探讨知识应用的可能性	把研究成果应用到生产实践中
研究性质	探索新事物，发现新规律	发明新产品、新工艺、新材料、新设计、新技术、新方法	完成新产品、新工艺、新材料的实用化研制
研究特点	追求事物的内在联系，预言规律产生的作用	追求最佳条件系统，实现技术创新和人工产品	产品设计、试制和工艺改进等
相互关系	为应用研究提供理论依据和指导	运用基础研究成果和有关知识	利用基础研究、应用研究成果和现有知识
人员要求	科学家。具有深厚的理论基础与创新能力	科学家、工程师。具有创新及分析问题、解决问题的能力	工程师、技术人员。具有相当的专业知识和丰富的实践经验
管理原则、方法	1.没有实际要求 2.没有时间限制 3.不急予评价 4.带头人水平是关键 5.多数情况下对费用没有固定要求 6.一般没有保密性	1.有目标、计划 2.有时间限制，但有弹性 3.适当时候作出评价 4.选题和组织工作起重要作用 5.费用较多，控制较松 6.有一定保密性	1.有具体明确目标，计划性强 2.有严格时间控制 3.完成后立即评价 4.须各方面协调配合，更须注重组织和团队的作用 5.费用投入一般较大，控制较严 6.有很强保密性
成果形式	学术论文、学术专著	学术论文、专利、原理模型	专利设计、图纸、论证报告、技术专利、初试产品等
成功率	无风险，成功率低，实现商业化、企业化的可能性较小	风险很大，成功率较高，实现商业化、企业化的可能性较大	风险较小，成功率最高，实现商品化、企业化的可能性最大
典型事例	1.法拉第发现电磁感应原理 2.麦克斯韦提出电磁波理论 3.果汁变质的机理 4.胰岛素化学结构的测定	1.西门子制成励磁电机，可以发电，尚不能应用 2.赫兹发现电磁波，制成电磁波发生装置，使无线电通信成为可能 3.为获得保存果汁方法所需要的知识 4.胰岛素人工合成技术研究	1.爱迪生制成电机，建成电厂，建立电力技术体系 2.波波夫与马可尼进行无线电通信获得成功，实现跨越大洋的无线电通信 3.研制一种射线保存果汁的方法 4.研发出一种胰岛素新剂型

注：据刘正钦（1996）修改

（二）按照研究的方法分类

按照研究的方法，可将科学研究分为实验研究、调查研究和观察研究三类。

1. 实验研究

一直以来是自然科学的主要研究方法，是研究者预先计划、控制条件，使用某种条件主动引起、复制或者改变事物的自然过程，并对出现的现象进行观察、记录，继而分析、综合，做出结论的科学研究过程。实验研究又可分为绝对性实验和相对性实验。

(1) 绝对性实验

绝对性实验是用实验方法测量研究对象的某项（些）指标的绝对值，如植株的高度、千粒重、叶绿素含量等。此类实验强调使用统计学的误差理论，以便在存在众多测验误差的情况下获得所测指标的可靠性信息，同时对有关总体的指标做出最佳估计。

(2) 相对性实验

相对性实验又称比较性实验，是对两组或两组以上的研究对象给予两种或者多种处理，再观测比较不同处理的效应。此类实验研究强调使用统计学的设计理论，以便减少误差，保证各实验组之间的可比性。

一般在正式实验实施前要进行小规模实验，称为预（备）实验，其主要目的在于检查各项准备工作是否完善，确定实验操作方法是否正确可行，获得某些基础数据，确定合适的样本数和必要的统计学数据，摸索最佳实验条件，初步检验假说等，从而判定是否需要或者是否值得在更大范围进行实验（正式实验）。预实验又包括导向性实验、安全性实验、观测性实验和筛选实验4种。导向性实验是指在少数研究对象中进行小规模实验，根据结果判定是否值得进行大范围实验。安全性实验是指在正式应用新农药、新试剂前进行小规模的实验，以观察这些试剂的安全性及毒性作用等。观测性实验以获得算数平均数、样本标准差或/和相对标准差等为目的，在少数研究对象中进行的实验，其主要目的是了解实验组与对照组之间的差异程度。筛选实验主要采用比较简单的实验方法，从众多研究对象中筛选出值得进一步研究的对象。

2. 调查研究

用现场调查的方法作为收集资料主要手段的研究，称为调查研究。是一种对研究对象不加以任何干涉，对客观事物自发过程进行调查和记录的科学研究。按照研究的特定时间可分为横向调查与纵向调查。横向调查指在某一特定的时间内对研究对象某种事件或者现象出现频率进行的调查，纵向调查指在一段较长时间内对研究对象中某个事件出现的特征进行连贯性比较调查。按照调查时事件是否发生，可分为回顾性调查和前瞻性调查。回顾性调查是指在事件发生后进行调查，从调查结果中分析事件的发生原因、影响因素，前瞻性调查是指在事件发生之前，事先精心设计，经过一段时间以后进行观察，并取得资料的调查方法。

3. 观察研究

以观察的方法取得资料的科学研究，称为观察研究。如用肉眼辨识植物花的颜色，用显微镜观察植物花粉形态，等等。

(三) 按照研究的性质分类

按照研究的性质，可将科学研究分为验证性研究、探索性研究两类。