



普通高等教育“十三五”规划教材

江苏高校品牌专业建设工程项目（农学，PPZY2015A060）资助

“扬州大学重点教材”项目资助

CROP CULTIVATION STUDY
METHODS AND PROTOCOLS

作物栽培学研究实验法

陈德华 主编



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材
江苏高校品牌专业建设工程项目（农学，PPZY2015A060）资助
“扬州大学重点教材”项目资助

作物栽培学研究实验法

陈德华 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本教材旨在使学生进一步掌握作物栽培学的理论与实践知识,促进作物栽培学的发展。全书分为4章,第一章为总述,全面地阐述了作物栽培学实验的试验安排与规划、试验设计方法、取样方法、调查测定内容与数据的整理和分析方法;第二章和第三章系统介绍了主要农作物生育期和生长发育状况的诊断方法、群体结构测定、干物质生产、产量估测和品质测定方法;第四章归纳了作物生理代谢研究方法,包括根系活力、光合生理、呼吸生理、碳氮代谢生理、激素、水分、矿质营养和抗逆生理的基本实验方法。

本教材适合农学及相关专业的本科生与研究生对作物栽培学进行学习、研究和实践,也可在生产一线农业技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

作物栽培学研究实验法/陈德华主编. —北京:科学出版社,2018.6
普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-03-056934-9

I. ①作… II. ①陈… III. ①作物-栽培技术-实验-高等学校-教材
IV. ①S31-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第049746号

责任编辑:丛楠 赵晓静/责任校对:王晓茜

责任印制:吴兆东/封面设计:铭轩堂

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2018年6月第一次印刷 印张:17 1/2

字数:482 000

定价:49.80元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《作物栽培学研究实验法》编委会名单

主 编 陈德华（扬州大学）
编 者 （按编写顺序排序）
陈德华（扬州大学）
段红平（云南农业大学）
魏海燕（扬州大学）
李春燕（扬州大学）
丁锦峰（扬州大学）
朱新开（扬州大学）
何永美（云南农业大学）
陆大雷（扬州大学）
王友华（南京农业大学）
赵文青（南京农业大学）
张 祥（扬州大学）
陈 源（扬州大学）
冷锁虎（扬州大学）
左青松（扬州大学）
张明才（中国农业大学）
杜明伟（中国农业大学）
段筱宇（云南农业大学）
李 阳（云南农业大学）
衡 丽（扬州大学）
胡大鹏（扬州大学）

前 言

作物栽培学是指导作物高产、优质、安全生产的一门实用技术课程。随着信息技术的飞速发展和体现智能化、电子化和科学化的仪器设备的更新,作物栽培学在研究内容、手段和研究方法上发生了很大的变化,栽培研究方法也进一步现代化。首先,表现在形态观察的智能化和电子化;其次,表现在农艺性状观测的自动化和信息化;最后,随着科学技术的发展,栽培生理生化研究方法得到更快的发展。为此,本教材从作物栽培研究实验法的系统性出发,对作物形态、生长发育、生理生化特征等方面的实验法进行全面归纳,尽量满足从事作物栽培学学习、研究、教学和推广等有关人员的全方位需求,使作物栽培研究实验法得到最大程度的推广应用。同时也有利于现代作物栽培学的发展。

要将课堂上所讲的理论知识应用到生产,特别是在现代化农业生产条件下更好地为农业服务,实践教学是必不可少的一个重要环节。作物栽培研究实验法提供3个层次的实践教学:第一层次是为开设作物栽培课之前的作物生产技能训练提供实验内容和方法,提供作物形态考察、识别、作物各器官的特征、主要农艺措施效应等调查方法和内容,使农学专业类学生和相关专业人员对作物有感性认识;第二层次是提供与作物栽培学理论教学同步的作物栽培学实验课内容,将理论知识与实践认识相结合,主要提供与作物优质、高产相关的长势长相诊断测定方法等内容,为农学和相关专业学生提高作物生产的实践技能提供指南和工具;第三层次是提供栽培生理生化代谢研究新方法,为提高相关学科学学生的创新能力,分析和解决生产上的问题和相关机制提供明确的路径。

本教材与以往的作物栽培学实验教材相比,主要突出以下几点。

(1) 突出全面性和系统性。针对作物栽培学实践性强的特征,本教材在编写时对每个作物的生长发育特征、生长发育期和农艺性状诊断等方法都有全面和系统的介绍,便于操作。

(2) 体现现代化。鉴于作物栽培学实验的条件和设备已得到全面更新,因此本教材的很多实验方法也相应改变,增加了信息化和现代化的操作方法。

(3) 增加了与作物栽培学发展密切相关的生理生化研究新方法。根据作物生理生化代谢研究方法的进展,本教材根据作物主要的代谢特征,系统地撰写了与栽培密切相关的生理生化代谢研究新方法,为农学专业类学生和相关专业人员提供学习和研究的重要工具。

本教材的编写得到了“江苏高校品牌专业建设工程”项目、“扬州大学重点教材”项目的大力支持,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,敬请各位同行和读者批评指正。

编 者
2018年1月

目 录

第一章 总述	1
第一节 试验安排与规划	1
第二节 试验设计方法	2
第三节 取样方法	3
第四节 调查测定内容	5
第五节 数据的整理和分析方法	6
第二章 单子叶作物栽培研究实验法	9
第一节 水稻栽培研究实验法	9
第二节 小(大)麦栽培研究实验法	42
第三节 玉米栽培研究实验法	61
第四节 高粱栽培研究实验法	83
第三章 双子叶作物栽培研究实验法	100
第一节 棉花栽培研究实验法	100
第二节 油菜栽培研究实验法	128
第三节 花生栽培研究实验法	142
第四节 大豆栽培研究实验法	157
第五节 甘薯栽培研究实验法	169
第六节 马铃薯栽培研究实验法	178
第七节 甘蔗栽培实验研究法	189
第八节 烟草栽培研究实验法	193
第四章 作物生理代谢研究方法	204
第一节 作物根系活力测定方法	204
第二节 光合生理测定法	208
第三节 作物呼吸生理研究法	218
第四节 碳水化合物代谢研究法	221

第五节 作物氮代谢生理研究法.....	231
第六节 作物激素生理研究法.....	243
第七节 作物水分生理研究法.....	248
第八节 作物矿质营养测定法.....	255
第九节 作物抗逆生理研究法.....	263
主要参考文献	271

第一章 总 述

作物栽培学作为一门应用性科学，其理论和实践都基于以土壤、作物和田间验证应用获得的作物栽培规律和高产、优质、抗逆技术。作物栽培学理论和技术研究的设计、研究内容、试验测定方法、分析方法等是进行作物栽培学研究的关键环节，为此，针对某一农作物，如何进行试验安排和规划、确定试验设计方法、选取具有代表性的样本、明确测定内容和方法、进行数据整理和分析等是作物栽培学研究的重要内容。但作物种类丰富多样，科学地应用作物栽培研究法，可提高研究效率，增加获得成功的概率。

第一节 试验安排与规划

一、试验地点的选择

首先，在进行作物栽培研究时，需根据试验目的确定实施试验的地点。对于每一个栽培试验，为保证获得理想的结果和效果，需要考虑选择一定的气候、土壤及生产条件等。因此，选择试验地点时应根据试验对生态气候、土壤条件、管理水平等的要求进行确定。例如，在做新品种配套技术研究时，除了选择不同生态类型地区进行适应性研究外，还要根据品种的产量潜力安排不同土壤肥力的地块进行试验，要获得新品种的最大潜力水平，必须在土壤肥力高且灌排等生产条件好的地块上进行。而在研究配套施肥技术时，需考虑具体试验田块主要养分氮、磷、钾含量的丰富程度，在考虑氮、磷、钾肥的效应时，最好是在氮、磷、钾养分缺乏的耕地上进行。

其次，由于研究内容的特殊性，在选择试验地点时需尽可能地选择特殊的试验地，这方面的研究主要体现在逆境试验方面。例如，在研究水分、盐分等对作物生长发育的影响时，一般干旱效应研究试验选择在生育阶段出现干旱概率大、试验地地下水位低的地块进行；涝渍试验则相反，选择在生育阶段雨水多、试验地地下水位高的地块进行；盐碱效应试验则根据需要在选择内陆盐碱地或沿海盐碱地的同时，还要注意试验地块土壤盐碱含量分布的均匀性。其他试验如光照、CO₂等田间试验不但要求试验地块地力均匀，而且要求地块周围无其他因素如树木等的影响。

最后，在进行盆栽试验时，盆栽所用土壤应尽可能选用与需要研究的大田土壤一致的土质。

二、作物长势长相规划

1. 生长一致性规划 在进行作物栽培试验研究时，绝大多数都是关于不同处理水平及运筹方面的效应研究，因此，保证作物生长一致性最为重要，因为生长的整齐度直接影响到试验效果。例如，调节剂试验，如果处理的作物生长不一致，由于不同个体长势的差异，调控效应会产生差异，有时甚至会产生相反的效果。又如，棉花植株进入盛花期标志着生长中心进入生殖生长，喷施促进型生长调节剂一般不会引起旺长，但如果棉株生长仍处于初花阶段，施用促进型生长调节剂则会造成营养生长过旺，引起棉花徒长。肥料、密度等常用设计研究对作物生长一致性都有同样的要求。此外，盆栽试验由于钵大小、作物类型、管理等因素的影响，很容易造成个体间差异，更需要调节生长一致性，减少试验误差。由此可见，在试验规划时，首先要尽可能地保证种子质量，每粒种子质量应尽可能一致，为形成生长一致的植株奠定基础；

其次在处理实施前,在不影响处理效应的前提下,调控作物生长,尽最大可能保持生长一致。

2. 不同长势长相设计安排 在栽培研究中,由于作物的长势长相直接影响到产量和品质,因此,研究生长不足、正常、过旺的生长特征是常见的研究内容。这类栽培研究在规划安排时,首先要将作物安排在不同地力的土壤上,其次在管理措施特别是肥料、调节剂等技术应用方面要针对不同长势要求进行设计,保证试验获得所需要的作物样本。例如,水稻长势长相试验,首先将要求长势差的处理设计在土壤肥力差的地块,其他两种长势设计在肥力好的地块;其次在生长过程中还要通过肥料、调节剂等技术形成不同长势。同样,对长势不足试验设计,可通过减少甚至不施肥获得;对作物过旺长势试验设计,则通过加大施氮量措施获得;对作物正常长势试验设计,则通过当地高产管理措施获得。

3. 破坏性试验设计 在栽培研究中,还有一类研究方法是通过破坏性试验设计获得需要的试验结果,如通过去叶、疏果、收集伤流液等研究源库关系和根系活力。这类研究在安排时除要保证研究作物生长一致外,还要保证有足够样本可供取样。此外,由于应用破坏性处理,处理周围环境和作物本身生长状态也发生了变化,在设计时要与研究非破坏性处理分开进行,特别是研究产量、品质效应时。

4. 特殊栽培试验研究 在栽培研究中,还有一类属于特殊栽培试验研究,如病菌接种或人为虫害试验等。这类研究在安排时需要隔离,最好安排在周边无其他农作物的地块上进行。如果无这样的条件,可安排在以后不会种植与处理相同的作物的田块上。一方面减少病菌的传播,另一方面减轻对产量和品质的影响。

第二节 试验设计方法

一、田间试验方法

田间试验是栽培研究的主要平台,为保证试验结果的科学性和准确性,减少试验误差,需应用统计方法进行分析比较。一般试验设计根据试验因素的多少设计单因素试验、多因素试验。单因素试验研究单个因素不同数量或质量水平上作物性状的变化规律,并明确最佳水平或估计总体变异度,如不同密度水平下某一作物产量的变化、不同粳稻中熟品种产量的变化等。这类试验设计简单、分析直观,所得信息量也较大。试验设计方法主要有单因素随机区组试验和拉丁方试验。

多因素试验主要研究两个或两个以上试验因素各因素不同水平和不同水平组合上的变化规律,获得不同因素水平的最佳组合或估计总体变异度。例如,将某一作物种植密度和施氮量组成一个二因素试验,不但能获得密度、施氮量对某一性状如产量的主要效应,而且能得到密度和施氮量对某一性状如产量的互作效应。这类研究获得的信息量大,研究结果的准确度也高。常用的试验设计方法有二因素、三因素随机区组试验,二裂式、三裂式裂区试验。但多因素试验随着试验因素的增多,处理数目迅速增加,由于处理数量太多,一方面试验地面积大,非试验因素的一致性变小;另一方面在管理、调查、取样和测定方面的工作量也大,很多非试验因素的均匀性难以控制,容易造成误差加大。因此,一般要求处理数目不超过 20 个,当有 4 个以上试验因素时,可采用特种试验设计方法,如正交设计、不完全组合设计、旋转组合、混料回归设计等。

二、盆栽试验方法

盆栽试验主要是为了解决田间试验的农作物不能移动,无法在可控条件下观察作物在不同处理条件下的变化特征的问题。盆栽试验应用较多的是温度、水分、湿度、光照等环境因素胁迫试验或者在环境可控条件下一些调节剂、微量元素不同水平对作物生长的效应。盆栽试验作

物生长可控, 移动方便, 还可最大程度减轻处理之外其他因素的影响, 试验结果准确性也高。但盆栽试验由于作物生长在范围受限制的土壤中, 土壤环境如水分、温度、养分等都和田间试验不一样, 研究结果往往与大田结果不一样, 因此盆栽试验结果需要经过大田进一步验证。

三、水培试验方法

在栽培研究中, 有时所用的样品材料仅为作物的幼苗, 且处理要在可控环境下进行, 因此试验常常以无土栽培进行。无土栽培的方法主要有水培、砂培或雾培等。这些培养方法是在培育作物幼苗过程中不断提供营养液, 保证幼苗生长对营养的需要。目前常用的幼苗培养方法中以水培法(营养液栽培)和基质栽培最为常见。其中水培法主要应用于水稻等水生作物, 基质栽培主要应用于旱地作物。

用于水培的种子, 首先要进行消毒。选择品种纯而健全的种子, 可用饱和的漂白粉溶液浸泡消毒 15min (或者用 1%氯化汞溶液消毒 10min), 取出后用蒸馏水冲洗干净。将种子播在垫有滤纸的带盖搪瓷盘中, 加入少量水(或播在垫有湿沙子的搪瓷盘中), 为了保持湿润, 种子上面应覆盖湿纱布或湿沙子, 并盖好盖, 放在 25℃左右的温度下发芽, 并注意经常少量浇水。待幼苗长至 2~3cm 时, 将幼苗移入营养液中进行培育。营养液配方很多, 依作物种类、生长季节等而不同。这方面可查阅不同作物营养液配制方法。

基质培养以砂培应用最多, 特别是在研究旱地作物的根系生长状况时, 以应用基质培育最为适宜, 但在培育幼苗过程中仍应用营养液补充养分。

第三节 取样方法

一、取样原则

作物栽培的研究, 为获得正确的研究结果, 取样的代表性尤其重要。因为环境、土壤、植株间的相互竞争及人为等因素的影响, 即使是同一处理的作物, 个体间在株高、叶片大小、生殖器官数量、生物量等方面也会存在一定的差异, 特别是高大型植株如玉米、高粱、油菜、棉花等个体间上述差异更大。因此, 取样植株、器官、部位等的代表性是获得正确结果的前提。为获得有代表性样本, 必须掌握以下两方面原则。

(一) 样本的随机性

随机抽样一般针对群体较大的样本进行, 如大面积作物测产、土壤取样等。随机抽样方法也有很多种, 最常用的方法为五点取样法, 其中对角线法是五点取样法中的一种, 即在对角线的交点和周边 4 个角上进行取样。其他方法如按照棋盘格式、分行式、平行式随机确定一个点进行取样。随机抽样方法是理论上最为准确的抽样方法。这是因为抽样必须是随机的, 不能有主观偏见, 谁能被抽取完全由样本的概率来决定, 概率大的被抽取的机会就大, 反之则小。随机抽样符合概率论的要求, 不仅对总体参数能做到无偏估计, 还能正确地估计抽样误差。但群体较大时, 抽取的样本数也要多, 样本多又会耗费大量的人力、物力, 甚至花费大量的时间和财力。因此, 必须把握好合理的样本数量。适宜的样本数量一般根据研究内容允许的误差范围和测定性状的可靠程度来确定。

(二) 样本的典型性

典型取样是根据研究需要, 有意识、有目的地从群体内选取有代表性的典型植株或器官, 以代表群体的绝大多数。典型样本如果选择合适, 可获得可靠结果, 尤其是从大的作物群体中选取少量的样本时, 或在小区试验时在某一作物生长阶段对所取样的处理有明确要求时常常采用这

种方法。在鉴定作物品种某一生长阶段某一性状与栽培措施的关系时,典型取样更为重要。例如,在研究肥料施用时间与水稻节间长度关系时,选取的节间部位则更为重要,因此取样要定位节间部位,才能获得准确的研究结果。同样,在研究栽培技术与棉花五室铃关系时,应选取中部和内围果节位的棉铃进行研究。随着作物栽培研究的深入,研究的精准化对取样的代表性有更高的要求。因此,获取典型样本是栽培研究的重要环节。对于以田间小区试验为主的栽培试验,典型取样首先要剔除边界行的影响;其次在中间行取样时,要结合处理、作物长势长相选取代表性植株或器官样本;最后对有特殊情况发生的植株或器官样本要及时舍弃。例如,害虫对植株部分器官的影响、风雨对部分植株或器官的损坏要及时辨别,以免影响试验结果。但典型取样依赖于取样者的经验,不同取样者结果可能会不一样,而且不符合随机原理,无法估计抽样误差。

二、采集样品

在栽培研究时,取样与研究内容、器官类型及所在部位、处理效应的持续时间、研究植株和器官的生长发育动态有关。

第一,根据研究内容确定是活体取样还是离体取样。对于作物的光合特征,如叶绿素、光合强度、荧光分析等内容,由于现在都有现代化的便携式测定仪器,在田间活体取样即可完成。而对于作物体内与碳代谢、氮代谢及抗逆密切相关的化合物含量和代谢相关酶活性的测定取样只能采用离体取样方法,如与作物抗逆有关的丙二醛(MDA)的含量,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)等的活性,蔗糖合成酶、转化酶、葡萄糖、果糖的含量,与氨基酸、蛋白质合成相关的谷丙转氨酶(GPT)、谷氨酰胺合酶(GS)的活性,氨基酸、可溶蛋白的含量等。

第二,根据器官类型及所在位置确定取样部位。由于作物的器官有根、茎、叶、花、果实等,每个器官的数量很多,在取样时只能取少量样品进行研究。因此,选取能够代表其生长特征的某一部位的器官是栽培研究中经常使用的方法。例如,测定叶片的光合功能时,水稻、小麦、谷子通常选取主茎倒2叶,棉花、大豆、高粱选取主茎倒4叶,玉米选取棒三叶,油菜选取倒4叶,来代表全株的光合功能。

第三,根据处理效应的持续时间确定取样器官的标志时间。一般情况下,研究涉及处理对某一器官生长发育的持续时间时,首先要对需要研究的器官的生育状况进行标记,一般根据该器官在生育过程中的显著特征进行。例如,叶片生长一般在其刚展平时进行标记,然后定期取样测定其生长特征。生殖器官则在其开花时进行标记,然后定期取样,测定其发育特征。由于取样是破坏性的,因此标记时需要针对不同植株标记一定数量样本才能保证有足够样本供研究需要。对一些生殖器官有脱落特性的作物如棉花,在标记蕾、铃样本时,必须根据脱落率加大样本标记量,才能满足取样的需要。

第四,根据研究植株和器官的生长发育动态进行取样。在栽培研究中,无论是整株取样还是器官取样,掌握其生长发育特征进行取样,可使获得的结果更能说明问题,增强针对性。例如,在研究作物的群体结构与光合效率关系时,以叶片为取样对象,研究其大小、面积、叶角及其在植株上的分布是确定群体光合效能重要内容;同样,在研究作物产量形成特征与气候环境关系时,以不同部位籽粒(果实)为取样对象,研究其数量、个体养分充实特征是确定气候环境对产量形成影响的重要内容。又如,通过研究棉株下部、中部和上部棉铃数量的变化,以及棉铃、棉籽、纤维重量的变化与相应发育阶段温度、光照等的关系获得气候变化与产量的关系。

三、保存样品

在作物栽培研究中,样本采集存在两个特征:一是取样量大,二是取样需要一段连续的时间。因此采集的样品往往不能在短时间内完成测定或需要完成采集后再集中测定。因此保存好采集的

样品是栽培研究中保证测定结果准确的重要环节。

对于需要测定鲜样的样品，保湿最为重要。取下的植株样品或器官组织样品，必须放入事先准备好的保湿容器中，以维持试样的水分状况和未取下之前基本一致。否则，由于取样后的失水，特别是在田间取样带回室内的过程中，离体材料的许多生理过程发生明显变化，用这样的试材进行测定，就不可能得到准确可靠的结果。为了保持正常的水分状况，在剪取植株样品后，应立即将其插入有水的桶中，对于枝条，还应该立即在水中进行第二次剪切，即将第一次切口上方的一段在水中剪去，以防输导组织中的水柱被拉断，影响正常的水分运输。对于器官组织样品，如叶片或叶组织，在取样后应立即放入铺有湿纱布的带盖搪瓷盘中或铺有湿滤纸的培养皿中。对于干旱研究的有关试材，应尽可能维持其原来的水分状况。另外，在取样前，应去掉样品表面尘土等异物。取样后，对于可见的附着尘土异物，一般应该用水冲洗干净，并用滤纸吸干材料表面的附着水，尤其是供测定电导率等的试材，更要求样品表面干净，否则测定结果就不会有好的重复性，且准确度和精确度都不会高。此外，对于测定酶活性、激素含量等的样品，取样后应立即对样本进行液氮冷冻，或放入冰盒中带至实验室再进行液氮冷冻以保持酶活性，防止其氧化分解。

对于需要测定干样的样品，一般将其烘干、粉碎后放于牛皮纸带中保存。为了加速烘干，对于茎秆、果穗等器官组织应事先将其切成细条或碎块。烘干时，新鲜材料先在 105℃ 下烘 30min，杀死细胞，防止呼吸引起化学成分改变。然后将温度调至 80℃ 下烘干至恒重。

第四节 调查测定内容

在确定了研究的处理及水平、应用合理的试验设计方法以后，进一步明确研究测定的内容是获得研究结果的重要步骤。为保证研究结果能准确地给予所要解决问题的答案，确定调查测定的内容则更为关键。处理对作物的影响可分为直接效应和间接效应。直接效应是指处理应用后直接影响作物的生长发育和生理代谢；间接效应是指由直接效应变化引起的连锁效应。在确定调查测定内容时，处理直接效应是研究最重要的调查内容，其次为间接效应。例如，在研究氮肥对作物生长发育影响时，氮肥处理后作物器官数量的变化、植株体内氮素的吸收和积累量的变化、氮代谢生理的变化是氮肥处理的直接效应；而营养器官叶片的大小、节间的长短、生殖器官的大小、光合生理代谢等的变化则是氮肥处理引起上述直接效应产生的间接效应。通常情况下，调查测定内容可分为作物形态和作物生理两个部分。

一、作物形态调查测定内容

作物形态调查测定内容一般分为以下 4 个方面：①测定根系的生长，主要包括根原基的发生、根系生长速度、根系在土壤中的时空分布；②地上部的生长发育，包括主茎和分蘖（分枝）的发生和生长、叶原基的分化、叶片的生长和叶面积的动态变化；③生殖器官的分化和形成，产量器官的发育速率及动态，产量器官的数量及时空分布；④产量器官的品质形成及时空分布。

二、作物生理调查测定内容

作物生理调查测定内容一般包括以下 5 个方面：①根系活性及相关代谢，包括激素信号转导生理、土壤养分和水分吸收及运输生理，地上部有机养分向根系运输的相关生理；②叶片碳（氮）代谢生理，包括叶片光合作用、光合产物的装载和运输、氨基酸和蛋白质的合成和分解；③产量器官养分充实生理，包括光合产物卸载、物质转换与合成等；④品质形成生理，包括与品质相关的物质，如淀粉、蛋白质、脂肪、纤维素等的合成与积累及其结构的形成等；⑤次生代谢生理，这部分内容与作物的抗病虫及逆境生理有关，即在研究处理效应与作物抗病虫及极

端气候环境下作物响应机制关系时需要考虑的测定内容。例如，在研究生长调节剂缓解高温逆境对作物产生伤害时，可通过测定与抗逆有关的 MDA 含量、SOD 和 POD 活性或相关的热激蛋白的组分及含量等的变化来研究处理效应。

对于以上调查测定内容，首先要把握哪些是处理的直接效应，哪些是间接效应。在此基础上，重点调查测定直接效应，获得处理效应的最直接证据，也为解决所要研究的内容提供令人信服的证据，并总结实用的建议及技术。

此外，随着现代测试技术和研究手段的发展，分子栽培研究正在进一步深入。栽培处理对相关基因表达调节效应、特别是在蛋白质水平上的调节效应已成为栽培研究的热点。

第五节 数据的整理和分析方法

一、数据整理方法

在做栽培研究时往往要面临大量的数据，一方面在研究某一特征性状时，一般要测定 3 或 4 个重复值；另一方面作物生长发育是连贯性的，需要定期跟踪某些性状的变化。因此，在一个试验完成后，通常会获得大量的数据。数据的整理分析不但能使测定的数据有序化，而且可进行统计分析并获得科学的结果和结论。栽培试验数据的整理一般按照以下步骤和方法进行。

1. 剔除异常值，计算平均值 无论是室外的田间试验、盆栽试验，还是室内的水培试验，数据整理时首先要检查调查测定的每个性状的重复值是否存在异常表现，如果有与其他重复值相差很大或与一般的生长规律或生理特征明显不符的数据，需要及时剔除或补测。例如，在测定移栽棉花初花期株高时，测量的株高为 95cm，这与其他重复仅 55cm 左右相差很大，且与初花期株高一般在 50~60cm 也相差很大，因此 95cm 这一株高数值属于异常值，在计算平均值时需予以剔除。此外，为了应用某一统计方法（如方差分析）进行数据分析，需要相同的重复数，但由于自然灾害、病虫害等影响，有的重复可能缺失，因此针对缺失和剔除的重复值，可应用缺值估计的方法补上重复值，再应用某一统计方法进行分析。在核查完异常数据后，统计平均值并计算标准误。

2. 深度整理形成二级数据，扩展数据信息量 在整理获得测量性状的平均值后，为进一步扩大数据的信息量，需要对数据进行进一步整理，获得更多仅根据平均值看不到的特征或规律。栽培研究中进一步数据整理主要包括以下几个方面。①获得性状增加或降低的幅度，该整理方法一般以测定数据与对照（未处理）或基数（处理前）的性状值相比增加或减少的百分数或绝对量，来确定性状变化的幅度。②获得性状增长或下降的速度，该整理方法一般通过后一数据与前一数据相比增加或下降的量，从而确定速度增加或下降的快慢。③不同部位某些性状值的变化，这类数据整理是根据作物生长的时间和空间分布，将作物划分成不同部位，然后统计不同部位某性状数量或占整株比例的变化。④根据作物对特定性状的定义，专门整理特定性状绝对量或相对量的变化。例如，水稻栽培研究时，将稻穗籽粒划分为强势粒和弱势粒，将分蘖定义为有效分蘖和无效分蘖；棉花栽培研究时，将棉铃分为伏前桃、伏桃和秋桃；油菜栽培研究时，将荚果分为有效荚果和无效荚果。因此在进一步整理数据时，需根据上述有关定义，进一步整理数据形成上述的特征性状值或占总的百分率，为进一步分析作物特定性状的生产意义提供证据。此外，数据的整理还需考虑相应统计分析对数据的要求进一步整理，如次数分布、频率分率和累积频率分布等，为进一步进行 Logistic 生长曲线模拟等提供数据支撑。

二、数据分析方法

对于通过栽培试验获得的大量数据，如何通过统计分析得到科学的结论是栽培研究最重要

的环节。为此，掌握常用的统计分析方法也是栽培研究必备的基本技术。栽培研究的统计分析常用以下分析方法。

1. 变异系数 变异系数用来反映某一性状或测定值的变异程度，它是标准差与平均数的比值乘以 100。变异系数既可用于评价地力的均匀性，也可用来研究某一作物特征的变化幅度。

2. 不同处理性状值差异的显著性测验 在栽培试验中，确定不同处理下某一性状测定值的差异是处理还是误差造成时，往往应用不同的假设测验方法。无论是单个平均数还是两个平均数（包括成对比较）的假设测验，样本数量小于 30 时一般用 t 测验，大于 30 时一般用 μ 测验。

3. 方差分析 栽培试验中方差分析主要应用于多个处理下作物某一性状值的差异显著性分析。单因素条件下可分析不同水平下某一性状值的差异；多因素条件下，除可分析某一因素下不同水平的差异，还可分析不同因素、不同水平下性状值的差异，以及不同因素之间的互作效应。例如，在研究作物种植密度和施氮量对产量的影响时，可通过方差分析分别确定密度和施氮量不同水平下对产量影响的差异显著性、密度和施氮量不同处理水平间产量差异显著性、密度和施氮量对产量的互作效应。

4. 线性回归和相关分析 栽培研究中，为了确定两个性状（变数）间是否有线性关系或直接的相关性，可进行线性回归和相关的统计分析。如果两个性状间具有原因和反应的关系，在统计分析时首先应获得反应性状 Y 和原因性状 X 是否有线性回归关系。当然， Y 与 X 也可能存在非线性关系。如果上述两个性状间不存在原因和反应的关系，可能是二者受到其他因素的影响。因此，统计分析时应首先获得二者关系的密切程度并测定其显著性，一般用相关系数表示。例如，在栽培研究中，种植密度和产量的关系可用线性回归分析方法，其中密度为原因性状 X ，产量为反应性状 Y ；而在研究作物粒重和粒数关系时，由于二者不具有原因和反应的关系，一般应用相关分析，并进行显著性测验。

在应用线性回归和相关分析时，需要注意以下几个方面：①虽然经线性回归分析和测验，两个性状间存在线性关系，但并不能说明两个性状间的关系就是线性，且并不能排除两个性状间可用更好的非线性关系进行描述；②显著的线性关系或相关分析在生产实践中不一定具有预测作用，必须要控制研究的两个性状之外的其他因素尽可能为常量时，线性回归方程才具有预测意义；③两个性状间的样本容量需大于 5，且原因性状取值区间尽可能大，才能明显地减少误差；④如果原因性状是反应性状的一部分，或反应性状是原因性状的一部分，则不能应用相关分析。

5. 非线性回归分析 在栽培研究中，大多数性状关系不可能为简单的线性关系，而是以非线性关系的方式存在，如施氮量与产量的关系、棉花密度与铃重的关系等。但通过适当的变量转换方式可将其转换为线性关系，然后进行线性回归分析，且将其复原后能得到更多的信息。因此应用非线性回归分析方法可更好地确定两个性状间的特定特征，并可估算极值、拐点等重要参数，还可进行理论上的外推。非线性回归的形式多种多样，最常用的有以下几种方法。

(1) 依变数 Y 和自变数 X 之间可用方程 $Y = (a + bX) / X$ 表示，该方程中 X 值不能为 0； $1/X$ 或 YX 具有专业意义； Y 与 $1/X$ 或 YX 与 X 的关系为线性且测定显著。这类模型可用于生育期与温度的关系等分析。

(2) 依变数 Y 和自变数 X 之间可用方程 $Y = 1 / (a + bX)$ 。该方程中 $1/Y$ 具有专业意义； $1/Y$ 与 X 的关系为线性且测定显著。这类模型可用于密度与穗（铃）数的关系等分析。

(3) 依变数 Y 和自变数 X 之间可用方程 $Y = ae^{bX}$ 表示。该方程中 Y 须为正值，且不能小于等于 0； $\ln Y$ 与 X 或 $\lg Y$ 与 X 的关系呈线性且测定显著。该方程常用于与已有大小成比例的生长量分析。

(4) 依变数 Y 和自变数 X 之间可用方程 $P = a + bX$ 表示。其中 P 为累积概率 Y 相应的概率单位。该方程主要用于作物器官等的累积生长量或发生量的分析。单位时间的生长量或发生量接近正态，累积概率 Y 和 X 的散点图呈 S 形；当将 Y 转换成 P 后， P 和 X 的关系呈线性且测验

显著。该方程的分析可获得作物生长的始盛期、高峰期和盛末期 (P 分别为 4、5 和 6 时)。当累积频率 Y 和 X 呈不对称的 S 形曲线, 且右上方有明显的长尾、 P 与 X 不呈线性, 但 P 与 $\lg X$ 呈线性时, 可用 $P=a+\text{blg}X$ 方程进行分析。

(5) 当作物生长量随时间变化呈对称的 S 形曲线时, 依变数 Y 和自变数 X 之间可用 Logistic 生长曲线 $Y=K/(1+ae^{-bx})$ 表示, 其中 K 为极限生长量, 生长的拐点为 $X=\ln a/b$ 。该方程一般用于模拟作物生长量或繁殖量与时间的关系。

(6) 当作物生长量随时间变化呈不对称的 S 形曲线时, 依变数 Y 和自变数 X 之间可用生长曲线 Richard 方程 $Y=a(1+be^{-kx})^{-1/n}$, 其中 a 、 b 、 k 、 n 为参数, a 为生长终值量; b 为作物生长初值参数; k 为生长积累速率参数; n 为形状参数。应用此方程可获得以下生长参数。

作物某一器官或性状 (如灌浆) 的生长速率 (V) 可通过对 Richard 方程进行一阶求导得到: $V=(kY/n)[1-(Y/a)^n]$ 。

生长速率最大日期 $d=(\ln b-\ln n)/k$ 。

生长速率最大时生长量 $Y_{\max}=a(n+1)^{-1/n}$ 。

最大生长速率 $V_{\max}=(kY_{\max}/n)[1-(Y_{\max}/a)]^n$ 。

生长起始势 $R=k/n$ 。

活跃生长期 (完成总生长量 90% 的天数) $D=2(n+2)/k$ 。

6. 多项式回归分析 在分析栽培研究数据时, 如果依变数 Y 和自变数 X 之间为非线性关系, 但又找不到适当的变量转换方式使其变为线性, 则可应用多项式回归模型进行分析, 如作物产量、生物量与施肥量的关系, 叶片光合强度与光照强度的关系等。在进行多项式回归分析模拟时, 如果 Y 与 X 的散点轨迹呈明显的凹型或凸型, 但无明显的由凹变凸或由凸变凹的趋势, 一般可模拟二次式方程 $Y=a+bX+cX^2$; 如散点轨迹有一处呈由凹变凸或由凸变凹, 可配合三次回归方程 $Y=a+bX+cX^2+dX^3$; 如散点轨迹有两处呈由凹变凸或由凸变凹, 可配合四次回归方程 $Y=a+bX+cX^2+dX^3+eX^4$ 。依此类推有五次式回归方程等。以上回归方程在分析时, 可通过一阶和二阶求导, 获得极值、拐点等参数。一般二次式有一个极值参数, 三次式有两个极值和一个拐点参数, 四次式有两个极值和两个拐点参数。以后多项式每增加一次, 拐点增加一个。

7. 多元回归和相关分析 除上述依变数 Y 和一个自变数 X 之间回归外, 在作物生产研究中, 往往一个依变数和多个自变数有关, 如作物产量, 不仅与密度、肥料有关, 还与温度、水分、光照等密切相关。因此, 在栽培研究时, 在分析一个性状与其他多个因素的关系时, 常常应用多元回归和相关分析方法。其中多元线性回归和相关分析是最常用的分析方法。即 $Y=a+b_1X_1+b_2X_2+\dots+b_jX_j$; 其中 a 为 X_1, X_2, \dots, X_j 为零时的 Y 值, b_j 为偏回归系数, 表示 $X_1, X_2, \dots, X_{(j-1)}$ 保持一定, X_j 每增加一个单位对 Y 的平均效应。在多元回归分析时, 应用逐步回归方法, 根据显著性测验剔除不显著的自变数, 优化多元回归方程。

在进行多元回归相关分析时, 常常计算复相关系数和偏相关系数。复相关系数是衡量整个模拟方程是否可行, 这可通过显著性确定。偏相关系数则是衡量多元模型中某一因素与依变数的关系大小, 如果显著, 则表明两者间关系密切。偏相关与线性相关的区别是某一因素与依变数的相关已消除了其他因素的直接和间接影响。因此偏相关更能正确地评价两个性状间的线性相关程度和回归效应。

(陈德华)

第二章 单子叶作物栽培研究实验法

第一节 水稻栽培研究实验法

I 生育期诊断

实验一 水稻生育期调查

一、目的与要求

掌握水稻生育期诊断方法。

二、材料与用具

1. 材料 一定面积的秧田和本田，水稻从种到收的主要生育时期。
2. 用具 直尺、天平、纸袋、剪刀、网袋等。

三、实验内容说明

(一) 水稻生育时期测定

1. 水稻生育时期 水稻的一生一般划分为两个阶段，即营养生长阶段和生殖生长阶段。营养生长包括种子萌发和根系、茎、叶、蘖的发生与生长，可以分为幼苗期与分蘖期；生殖生长包括穗分化与抽穗结实，可以分为长穗期和结实期，在长穗期里，既有营养生长，又有生殖生长，是两者同时并进的时期。幼苗期、分蘖期、长穗期、结实期还可以根据各自特征进一步分为若干时期。

2. 水稻生育时期的测定方法 水稻移栽大田以后，大田每个品种（或处理）定 10~20 穴（或称丛）作为生育时期观察材料（小区一般垂直于插秧方向连续定 10 穴，大田定 20 穴；小区靠边行 2 穴，大田靠边行 5 穴，不宜作观察材料）。定点后进行定期观测，按表 2-1 记载观测结果。有些生育期可以与群体动态观测结合进行，如分蘖期、抽穗期等。

表 2-1 水稻生育时期观测记载表

水稻生育时期	返青期	分蘖始期	有效分蘖终止期	最高分蘖期	拔节期	孕穗期	始穗期	抽穗期	齐穗期	乳熟期	蜡熟期	成熟期	备注
品种 1													
品种 2													
品种 3													
...													

3. 水稻生育时期记载标准

(1) 出苗期：观测发芽总粒数的 10% 不完全叶突破芽鞘，叶色转青的日期为出苗始期；50% 时为出苗期；80% 时为齐苗期。

(2) 三叶期：观测点内 50% 的秧苗第三片完全叶全展的日期为三叶期。

(3) 返青期：移栽大田后 50% 的植株新叶重新展开，叶色由黄转绿，心叶开始伸长，同时有新根发生的日期为返青期。从移栽后的第二天到返青期的天数称为返青日数。

(4) 分蘖期: 10%的植株新生分蘖叶尖露出母茎(也称为主茎)叶鞘约 1cm 时为分蘖始期; 50%时为分蘖期; 总茎蘖数达到最多时为最高分蘖期; 分蘖速度最快的时期为分蘖盛期。

(5) 有效分蘖终止期: 茎蘖数与最后的有效穗数相同的日期为有效分蘖终止期。

(6) 拔节期: 50%的植株地上部第一节间伸长, 早稻达到 1cm 以上, 晚稻达到 2cm 以上的日期为拔节期。

(7) 孕穗期: 50%的植株的剑叶叶枕全部露出下一叶叶枕的日期为孕穗期。

(8) 抽穗期: 10%的稻穗穗顶露出剑叶叶鞘达到 1cm 时为始穗期; 50%时为抽穗期; 80%时为齐穗期。

(9) 乳熟期: 50%的稻穗中部籽粒内容物充满颖壳, 呈乳浆状, 手压开始有硬物感觉时为乳熟期。

(10) 蜡熟期: 50%的稻穗中部籽粒内容物浓黏, 手压有坚硬感, 无乳状物出现的日期为蜡熟期。

(11) 成熟期: 早籼稻 80%、早粳稻 90%的谷粒变黄, 米质变硬, 晚稻全部谷粒变黄的日期为成熟期。

(12) 全生育期: 从播种出苗到成熟的日期为全生育期。

(二) 水稻叶龄测定

1. 定株 水稻秧苗第一片完全叶全展后, 每个品种(或处理)选有代表性的秧厢(畦) 1~2 厢(畦), 定 20 株秧苗作为观测点(或在上述观测点内定 20 株也可), 每一观测株旁插一细标签做标记, 长约 30cm, 并在其上编顺序号。待第三叶全展时再用红油漆标记样株叶片, 以后每隔 1 个叶龄标记 1 次, 定株后每隔 2d 观测叶龄 1 次, 并按表 2-2 记载。

表 2-2 水稻叶龄观测记载表

株号	1	2	3	4	...	20	合计	平均
叶龄 1								
...								

水稻移栽时应将样株移栽于本田, 每穴插一株, 随机并入丛内, 并插 20 穴(不插边行, 与行向垂直), 可以结合生育时期及群体动态观测, 定期记载叶龄(同时要继续标记叶片), 直至每株的剑叶全展为止。

2. 叶龄记载方法 一般以水稻主茎完全叶为准, 如水稻主茎第三片完全叶全展时, 记为 3.0, 如果心叶(n)尚未完全抽出, 则以其抽出长度达到心叶下一叶($n-1$)叶身全长(M)的大致比例来衡量, 以小数点表示(图 2-1)。记载方法如下。

(1) 心叶露尖卷曲如桶状, 即 $n < 1/3M$ 时, 记为 0.1。

(2) 心叶顶端开始展开, 即 $1/3M < n < 1/2M$ 时, n 记为 0.3。

(3) 心叶长度超过其下一叶的一半, 即 $1/2M < n < 3/4M$ 时, n 记为 0.5。

(4) 心叶长度与其下一叶等长, 即 $3/4M < n < M$ 时, n 记为 0.7。

(5) 心叶长度超过其下一叶长度而尚未完全伸出, 即 $n > M$ 时, n 记为 0.9。

(三) 本田期群体观察

1. 本田群体动态调查 水稻移栽后经过返青阶段, 需要调查基本苗。在正常条件下, 水稻移栽后 10d 左右开始分蘖, 以后分蘖急剧增加, 到拔节前后进入最高分蘖期。最高分蘖期后, 由于生长中心转移和田间荫蔽, 分蘖会部分死亡, 苗数减少, 到抽穗时趋于稳定。

2. 本田群体动态测定 定点定株测定。小区每观测点定 10 穴(或丛)(可与生育时期和叶龄观察共同设点), 大田每观测点定 20 穴, 共 4~5 个观测点。返青后调查基本苗数, 开始