

田间试验方法及统计分析

陈芳远 编著

广西科协普及部

1985

田间试验方法及统计分析

陈芳远 编著

广西科协普及部出版

1985年

內容簡介

全书共十章，第一、二章介绍了田间试验的基本方法。第三章说明统计分析的基本原理。第四至第10章介绍了二项分布、正态分布、统计假设测验、方差分析、 χ^2 测验、回归和相关、田间取样方法等，以上各章均作了较深入浅出的叙述，便于具有普通高中数学程度的读者自学。

书中对农业试验中遇到的实际计算问题，列举了实例，对于农业技术人员，较有参考价值。

田間試驗方法及統計分析

陈芳远 编著

广西科协普及部出版

广西农学院印刷厂印装

定 价：1.60元

序 言

运用数理统计的知识，对于各种农业试验结果进行分析的必要性，这早已为大家所认识。但要较全面地理解数理统计的理论基础，则需具备较高程度的数学知识，这对于具有高中程度数学知识的农业技术人员来说，一时较难做到。因此，常出现机械地仿照书本上的例题或计算步骤去整理试验结果，而并不真正地理解其意义，这种偏向，常导致得出错误的结论。要克服这种偏向，当然没有必要去系统地学习数理统计的专门知识。但至少应理解统计分析的一些基本原理在农业试验中应用的意义。本书正是为此目的而编写。

本书共分十章，一、二章介绍了田间试验的基本方法。第三章介绍统计分析的基本原理，为以后各章中的各种统计分析方法提供一个基础。第四至第十章，介绍一些常用的、基本的统计分析方法，同时对各种统计分析的原理也作了必要的讨论，其目的在于使读者学完本书后：1、能正确地运用书中介绍的各种统计方法分析试验结果；2、为阅读这方面更高程度的书籍打好基础。由于编著者理论和实践知识有限，书中所讨论的问题难免有缺点和错误，敬希读者批评指正，不胜感激。

编著者

于广西农学院1985年7月

目 录

绪 言	1
第一章 田间试验	6
第一节 田间试验的任务和要求	6
第二节 田间试验误差及其控制途径	8
第三节 控制土壤差异的方法	10
第四节 田间试验方案	16
第五节 田间试验设计	19
第二章 田间试验的实施	29
第一节 试验计划的制订	29
第二节 试验的田间设置和田间区划	31
第三节 试验的栽培技术	33
第四节 田间试验的观察记载和考种	35
第五节 收获脱粒	37
第三章 统计分析的基本原理	40
第一节 概率	40
第二节 统计分析的原理	52
第四章 正态分布	62
第一节 间断性变数和连续性变数	62
第二节 正态分布	63
第三节 总体平均数和标准差的估计值的计算	68
第五章 统计假设测验	77
第一节 根据正态分布进行显著性测验	77
第二节 样本的方差	86
第三节 根据t和F分布的显著性测验	94

第四节	二个样本平均值的比较	100
第五节	总体平均数的区间估计	112
第六章	方差分析	117
第一节	方差分析的原理	117
第二节	常用的几种方差分析法	131
第三节	方差分析内在假定和数据变换	154
第七章	次数资料实验结果的分析	162
第一节	χ^2 (卡平方) 测验的基本概念	162
第二节	适合性测验	166
第三节	均一性测验	167
第八章	直线回归和直线相关	175
第一节	直线相关及其相关系数	176
第二节	由相关表计算相关系数	185
第三节	直线回归和回归系数	190
第四节	直线回归方程计算及其图示	198
第五节	回归系数的显著性测验及 a 、 β 、 Y 的区间估计	203
第九章	试验结果的统计分析	212
第一节	资料整理	212
第二节	顺序排列试验结果的统计分析	218
第三节	随机排列试验结果的统计分析	224
第十章	田间取样方法	245
第一节	关于总体的概念	245
第二节	由各种不同的总体取样的方法	247

绪 言

一、生物数量性状的特点

整册书共分二

直接生物的全部特性，是由一个生物体出生时就具备的，即所谓遗传的，以及该生物体生活的种种外界条件，即所谓环境因素二者共同作用所决定。因此，即使遗传基础相同的生物体，假如其所处的环境条件不同，则其特征、特性也将会有差异。但就是在人工控制下，更不用说在自然状态下，二个以上的生物体也不能得到完全相同的环境条件，因此，在生物界，我们不可能看到特征、特性完全相同的二个生物体。生物的特征、特性包括像花色、叶色、种皮颜色等这些不能用数量表达的所谓质量性状，以及像水稻的株高、穗长，甘蔗的茎粗等可用数量表达的所谓数量性状。一般地说，质量性状比较稳定，不易因环境条件的波动而产生个体间的差异。与此相反，数量性状则较不稳定，易受环境条件的波动而产生个体间的差异。所以，不管我们如何设法使环境条件尽可能一致，个体间同一数量性状的数值也是不一样的。因此，我们不可能给某一生物的某一数量性状一个确定值，而只能观察到在一个环境条件比较一致的范围内，对受很多细微条件差异影响而表现出个体间无数细小差异的个体群。因此，当我们说某个水稻品种的株高有多少厘米？或某个甘蔗品种的含糖量有百分之几时，不言而喻，我们只能在一般的环境和栽培条件下取其各个体的平均值，但这只是一个大约的数值，必然存在着误差。不干我们进行农业研究的大部分实验，其主要的对象是涉及到一些数量性状，例如在比较一致的范围内种植几个作物品种，比较其与产量因素有关的特性，以决定其优劣。或在不同的栽培管理条件下，调查比较一个品种产量因素的变化情况，从而选择出最

佳的栽培条件。为此，就必须依据数量性状的特点，运用现阶段的科学知识，用能最低限度地降低误差的严密方法，才能使实验的结果完善可靠。

二、样本与误差

在土壤肥沃度大致相等的几块田里，用同样的栽培方法种值一个水稻品种。我们如果要知道这个水稻品种株高的分布状态和计算其平均株高时，我们则需量测这个水稻群，从最长到最短几万个植株的株高数值。但作为实际问题，要量测这样多的个体，时间和劳力都是不允许的。因此，我们是采用抽取比较少的个体，如300株或500株作为样本，用这个样本值的分布和平均数，估计全部个体群的分布和平均数。但是，这个样本必须是最能代表这个总体的状态，所以取样的方法，必须是采用不加任何个人意志的随机方法，这是因为如果人为的挑选特别长或特别短的植株，或者用目测随意想像大体的平均高度，这样的样本已经不能最好地代表总体的分布状态。为了获得不受个人的意志所影响而能代表总体分布状态和平均数的样本，一般是采用在第十章将详细介绍的随机取样方法。

那么，由随机方法而得的随机样本所计算出的平均数和所显示的个体群的分布状态，是否就能和总体的平均数及所显示的分布状态完全一致呢？不用说，只能在极少的场合两者偶然一致，而在大多数的场合，两者是不一致的。由样本所获得的作为总体平均数及其分布状态的估计值叫着统计数，而该总体固有的平均数和分布状态则称为参数，统计数和参数之间常显示出某种程度的不一致。统计数对参数所显示的这种不一致叫着偏差，这是由于不是测定总体的全部个体，而只是测定部份样本所产生的，所以我们把这种偏差称为样本误差。

为了弄清楚样本误差的含义，我们用大豆具有青子叶和黄色

叶的属性 这样极易明白的例子加以说明。假设现有一袋形状和大小相同的青子叶和黄子叶的大豆，同时青和黄各占一半，而且大豆的粒数多到不能胜数。现假设我们不清楚这些大豆的青黄比例，怎样利用随机取样的方法，对其青黄的比例进行估计呢？首先把袋中的大豆充分搅混，使青、黄子粒均匀地混合，然后闭起眼睛，用一个小容器伸入量出一小杯做为样本，如果这个样本刚好有10粒，在这种情况下，若不存在样本误差，则样本应该正确地显示出总体青、黄的比率，即样本的青子叶豆粒和黄子叶豆粒的比率应为1:1，在10粒样本中，必定有5粒青子叶，5粒黄子叶。但在实际的情况下青黄比率可能出现如下的11种样本类型，即：0青+10黄，1青+9黄，2青+8黄，3青+7黄，4青+6黄，5青+5黄，6青+4黄，7青+3黄，8青+2黄，9青+1黄，10青+0黄。在这些组合中，5青+5黄只是其中的一个，而多数都存在着样本误差。当我们用稍大的容器取出样本容量为100时，将可能出现101种的样本类型，即0青+100黄，1青+99黄，……，50青+50黄，……，99青+1黄，100青+0黄等。在这样的一些比率的组合中，50青+50黄就更难出现。不过，当我们获得将于第三章叙述关于概率的知识时，将会明白，样本容量为100的比样本容量为10的，出现接近于总体比率的样本的可能性高得多。因此，把样本容量由200，500，1000，……，逐步增加时则样本青黄的比率将依次更接近于总体参数1:1。但是，除偶然的机会外，统计数和参数之间总是纠缠着样本误差。这种样本误差完全是由于一些随机因素的影响而产生于始末，不管我们如何注意也决不能防止。

现在，我们再回到水稻株高的问题上来，如上所述，由样本求出的平均株高，其值必然伴随着样本误差，因此，不能把样本

平均数看成就是水稻所有植株株高的平均数。而只能把样本平均数（即统计数）看成是总体平均数（即参数）的一个估计值。用这种伴随着误差的估计值而得出的有关参数的结论，不可避免的带有错误的成份。运用统计学方法，则可对误差程度的大小，或者说，对正确程度的大小进行测验，从而得出可靠的结论。这是本书今后章节所要讨论的重要内容之一。

三、对实验结果进行统计分析的意义

我们在进行某种试验时，不管把试验设计和操作方法做得如何的严密，两次重复所得的结果也不可能是完全相同的，下面的分析就可以使我们清楚这一点。首先我们人力终究是有限的，所以，我们进行的所谓实验，只能在一个较小的范围内，而且只用极有限的少数材料进行。因此，所谓实验结果，只是用同样的材料，在同样的条件下得出的一次结果，所以，一次实验结果，只能把它看成是一个样本。这样就不可避免的要受到样本误差的支配。而两次的试验结果其误差值是不可能一样的，所以两次的实验结果也就不一样。其次，在我们的实验里，除实验的处理因素外，还有种种我们没有估计到的其它因素参入，这必然也会引起影响实验结果而产生误差。所以，既使用同样的方法反复进行几次实验，其结果都不是一样。因此，这种重复试验的不一致性，也不能只单纯从样本误差去考虑。倘若认真地观察分析，影响实验结果的一些因素，是可以完全或部分的弄清楚的，但大部分的原因都是不明确的，所以多数情况最终是难以说明的。因此，考察一个实验结果时，经常注意到把这类误差考虑在内是非常重要的。如果忘记这一点而把实验结果做为一个指导数据，或由这个实验来推导出一种理论，必然犯大的错误。

由上所述，可见我们进行实验时，不用说，只能尽量设法减少误差，对于业已产生的误差，我们人力是不可能消除的，而只能

对误差的大小进行估计。根据实验，在允许误差的范围内，对实验结果确定一个置信度，才能看出我们采用的实验方法所得出的实验结果的意义。运用统计学的知识，对实验结果进行统计分析，就有可能正确地对误差的大小进行估计。

如上所述把特定的实验结果看成是一个样本，这样，倘若我们提出一个假设对这个实验结果加以说明，则这个假设就不仅只说明这个特定的实验结果，在同样条件下所进行同样的实验，其所得的结果依然可用这个假设加以说明。最终必然由特殊导出一个符合一般规律的理论。这一点，已为历史事实所证明是可能的，因为今日高度发达的自然科学，都是人类在一定的范围内通过实验而发展起来的。但是如要由少数材料和在较小的范围内的实验导出具有普遍意义的理论，就必须从一开始就制定出可对误差进行估计的正确的实验方案，并根据这个方案进行实验，这样才能获得最高的效率，近代统计学一方面也是为此目的而发展起来的。

复习题

1. 生物的数量性状具有什么特征？
2. 什么叫参数？什么叫统计数？它们的关系如何？
3. 为什么样本值会存在误差？举例说明。
4. 对实验结果进行统计分析有何意义？

第一章 田间试验

第一节 田间试验的任务和要求

田间试验的基本任务，概括地说有二点。第一，研究、比较并鉴定新的栽培技术和优良品种，以达到进一步促进农业生产的目的。由于农业生产受自然条件的影响很大，因此，任何一项新的栽培技术或新育成的品种，在尚未明确其生产价值之前，都需通过田间试验加以明确，否则盲目推广到生产中去，将造成损失。第二，研究作物的某些生物学性状、特征和特性，例如研究品种和密度的关系，研究品种抵抗不良环境条件的能力，研究作物根系的生长状况等，采用任何其它试验方法，都不能得到确切可靠的结果。而必须采用田间试验法，对生产实践才有指导意义。

由于田间试验是在接近于生产实际情况的环境条件下进行的，这就增加了试验的复杂性，因此，为有效地进行试验，使所获得的试验结果对于发展农业生产和提高农业科学水平发挥作用，在试验的过程中，必需做到如下的一些基本要求。

(一) 试验要注意综合研究和分析研究法的结合 所谓综合研究法是指从现象之间的相互关系进行研究。由于农业本身是综合性的现象，作物的性状间及其各个生活条件间，是处于相互制约、相互联系之中的，一个条件发生变化，将使其他条件也产生变化，因此，我们在运用任何一项措施时，都要考虑到这个措施对作物生活条件的影响以及它们之间的关系。例如研究施肥量问题，就不能不去考虑到土壤肥力，品种的要求以及其它条件，因为这些条件都影响到施肥量的效果。品种试验也应是如此，因为不同品种其特性不同，要求也不同，所以就要能按作物不同品

种的要求，因地制宜，运用具体的综合性措施进行试验。我们在注意综合研究法的同时，也不能忽视分析研究法，因为没有充分了解到各个因素的作用就不可能正确地进行综合。例如对不同品种要按其特性的要求不同，给予所需要的生长发育条件，就首先要对各品种的特性有深刻的了解，为此就要通过分析研究的试验，控制着某些因素，使之在一致的条件下进行比较，以明确各不同品种在这一种及那一种条件下的表现。总之，在田间试验研究中，注意综合研究法和分析研究法的结合，得出的研究成果才具有实践的意义。

（二）试验的目的性要明确、具体 只有试验的目的性明确以后，才能按照目的与要求进行正确的试验设计。例如品种试验，虽然和综合丰产性的丰产试验一样也以获得高额产量为目标，但前者的目的在于比较品种或品种在丰产试验中所起的作用，而后者的目的则在于研究各项丰产技术的综合效果。显然两种试验设计不应完全一样。

（三）试验要有代表性 一方面试验要能反映出当地的自然条件，生产技术水平，生产组织和经济条件，否则试验结果难于为生产所利用。另一方面，要密切注意到条件的发展，要考虑到有的技术措施在现在看来适用，而将来可能不适用，有的技术措施目前虽然因条件限制不能采用或者采用不普遍，而将来可能具备条件。总之，随着我国农业的迅速发展，如果试验时不注意到将具备的条件，则会降低试验的价值。

（四）试验结果要正确可靠 试验结果是否正确可靠，这主要从两个方面衡量：即试验的准确度和精确度。所谓准确度是指观察值和相应的真值接近的程度；所谓精确度是指同一性状重复观察值间接近的程度。关于这方面的问题，留待下面有关章节作详述。

(五) 试验结果要能够重复 这里所指的重复是试验所获得的结果, 别人在相同条件下再试验或实践, 能获得和原试验相似的结果。由于田间试验是在复杂的自然环境条件下进行的, 因此, 要使试验结果能够重复, 就必须特别要注意下面几点, 第一, 试验一定要有代表性。第二, 进行多地点多年份的试验, 因为作物受年份的气象条件及地区的自然条件影响很大, 仅仅是一个地点一个年份的试验结果往往是不可靠的。第三, 对进行试验的条件以及试验过程中作物生长的状况等要进行详细的观察记录, 这就要建立试验的田间档案和某些调查记载资料, 有了这些资料才能对各种复杂的自然现象进行分析, 揭示它们的规律。

第二节 田间试验误差及其控制途径

一、产生试验误差的原因

在一个试验中, 除处理因素产生效应外, 不可避免的也将受到一些其他因素的影响, 因此, 我们所获得的观察值, 就难以准确地反映处理效应的真值。我们把这些处理效应以外的影响因素叫做误差。在田间试验中产生试验误差的原因, 概括的说可分为两类。一类是人力能够加以控制或能予以确定的非偶然性因素, 如播种不均匀, 施肥不均匀, 收获脱粒时产生的损失和混杂, 栽种密度不一致, 记载和量测标准不一致, 试验材料的遗传型不纯或生长发育不一致等; 另一类是人力所不能控制或确定的偶然因素, 如土壤肥力不均匀, 病虫害的随机侵袭, 田间小气候的差异等。偶然因素造成的误差虽然人力不能控制, 但由于这类因素有一定的分布规律, 所以是可估算的。上述所引起误差的因素, 影响了试验结果的准确度和精确度, 但通过一定的措施是可以防止或降抵所造成的误差程度, 有些误差因素(如偶然性因素)虽然难以控制, 不可避免, 但可通过一

定的统计分析方法加以估算。

二. 控制误差的途径

对于上述各种误差因素的控制,一般可采用如下的一些措施:

(一) 关于非偶然因素的控制 这类误差我们人力是可以控制的,只要在整个试验过程中加以注意,则可避免或降低误差的程度。具体地说,可采用如下的一些措施: (1) 选择纯合一致的试验材料,也就是说供试材料在遗传型上应该是纯合的。又如种子的大小,或甘蔗种茎的大小,水稻秧苗的壮弱应该都是比较一致的等。(2) 操作和管理标准化,具体内容和方法将在下一章叙述。这里主要谈谈局部控制。通过局部控制,可使一个重复的各处理所处的环境条件较为一致,从而降低误差。其次我们一切管理操作、观察记载以区组为单位进行控制,也可以降低误差。例如整个试验的某项操作,在一天内难以完成,则可先完成一个区组,这样就不会影响处理间的比较。

(二)、关于偶然因素的控制 在田间试验中偶然因素对试验效应的影响主要是土壤肥力差异造成的。控制土壤差异,除上面所谈及的运用局部控制,使一个重复的各处理小区处于一个局部的,土壤肥力条件较一致的区组。还有就是运用小区技术(这一点第三节讨论)和随机排列。所谓随机排列是指在一个重复中某个处理研究安排在哪一个小区,不以主观愿望设置,而是随机设置。随机排列的作用在于: (1) 使重复有意义; (2) 可提供无偏的试验误差估计值。请看图 1·1 和图 1·2,如重复而不随机,则A与B接近,而与D疏远,假定A、D二品种的产量本来就差异不多,但因二小区距离较远,土壤肥力的差异较相邻的小区为大,而这种小区间土壤肥力差异常被误认为是A与D二品种有本质差异。当进行方差分析时因全试验只有一个共同的误差,这种顺序排列的设计因土壤差异与品种差异混杂在一个小区内无

A	B	C	D
---	---	---	---

图 1 · 1

A	B	C	D
---	---	---	---

A	B	C	D
---	---	---	---

A	B	C	D
---	---	---	---

A	B	C	D
---	---	---	---

A	B	C	D
---	---	---	---

图 1 · 2

法分别开来，则A与D因小区间土壤差异过大容易使品种间的差异显著。图 1 · 1 虽名义上是重复，但因同一品种或同一处理均在一直线上，实际等于没有重复。倘若将上述排列改为如图 1 · 3 随机排列则更合适。关于随机排列的设计与分析，请看第二章和第六章。

A	B	C	D
---	---	---	---

图 1 · 3

D	C	B	A
---	---	---	---

B	A	D	C
---	---	---	---

第三节 控制土壤差异的方法

减少试验地的土壤差异的方法有：正确地选择试验地；消除土壤肥力不均匀性；采用适当的小区技术；正确的试验设计以及合理的布置试验等。现分述如下：

一、试验地的选择

试验地选择是否恰当，直接影响到试验的准确性。在选择试验地时要考虑到下述几个方面：

(一) 试验地的土壤要符合试验作物的要求，并具有本地区的典型性，即能代表当地的土质、土壤肥力、地势和耕作条件的地块，在这样的地段上得出的试验结果，才能较有把握地在本地区推广应用。

(二) 在地形方面要尽可能选择平地，因为地面高低不平相差悬殊，土壤温度、水分、养分等条件必有差异，导致增加试验误差。而且地面不平，也不便于田间管理工作。对于水稻试验来说，尤为重要。当不得不选用坡地时，也要尽可能地选择向着一个方面倾斜缓坡。如坡度过大，易发生土壤冲刷，而且在坡的不同部位，其土壤水分状况和养料状况也会显著不同。

(三) 试验地不要设在树木、楼房等障碍物附近，以避免发生遮阴和其他不一致的环境条件。也不要设在靠近河流、池塘的地方，以免造成水分条件的差异。试验地应和公路、铁路、村庄有相当的距离，以避免人畜的损坏。

(四) 考虑到试验作物不受旱涝威胁，试验地应选择灌溉排水条件较好的地块。

二、消除土壤肥力不均匀的方法

消除土壤肥力不均匀可采用下述方法：在整块的试验地上于未正式设置试验之前，先种植某种作物一、二年或多年，通过植物在不同肥力土壤上吸收养分能力不同，以达到平衡土壤肥力的目的。在进行匀田播种时，要注意到种子质量纯净一致、同时田间工作措施要有一致的质量，以免造成新的土壤差异。匀田播种再结合大量施用有机肥，则可更有效地消除土壤肥力的不均匀性，还须指出，匀田播种只能消除过去由于耕作、施肥所造成的土壤肥力暂时不均一性，而不能消除由于地形、土壤的理化特性以及