

全国高等农业院校教材

农业化学研究法

上册

(第二版)

西北农业大学 主编
华南农业大学

土化专业用

农业出版社

再 版 前 言

农业化学研究法是随着基础学科的发展和生产上的要求而不断发展的；做为教材，它又受教学计划的总安排所制约。近几年来，全国和各地方对农业化学群网试验的要求甚多，回归分析受到广泛重视，教学计划中高等数学的内容已扩展到概率论和线性代数方面，这些都向本课程提出了新的要求，同时也为丰富课程内容提供了基础。有鉴于此，在本修订版中重点增加了回归分析方面的内容，有关章节也做了相应的增补；在农化研究中，有些方面（如土壤微生物）使用计数资料，因此也增加了二项分布、泊松分布；农化问题的调查研究是容易被忽视的一种研究方法，但也相当重要，我们在本版中做了较大修改，试图整理成一套比较系统的方法，俾使初学者少走弯路。关于核素示踪技术，由于各校条件不同，开设情况有异，为适应发展的需要，我们增加了这部分内容，并将此单独编为下册，便于各校根据情况选用。至于电子计算机的应用部分，考虑到现已发展成一门独立课程，在修订版中已将它删去。

本书修订之前有十五个院校的二十二位任课教师在制定教学大纲的会上，对修订工作提了很多宝贵意见，谨此致谢。

编 者

1984年3月

第二版修订者

主 编	西北农业大学	李昌纬
	华南农业大学	连兆煌
编写人员	西北农业大学	肖俊璋
	北京农业大学	毛达如
	沈阳农业大学	邱忠祥
	北京农业大学	杨志福

第一版说明

根据农林部1977年关于编写高等农林院校试用教材的指示精神和土壤农化专业对《农业化学研究法》课程的要求写成本教材。

本教材内容包括误差理论与试验设计、田间试验、培养试验、示踪原子法、调查研究、统计分析和电子计算机在农化研究中的应用等方面。各校可以根据本身的课程设置和设备等条件进行安排。

本教材的初稿曾由中国科学院南京土壤研究所、中国农业科学院土壤肥料研究所、广东省农业科学院土壤肥料研究所、广东省开平县农业科学研究所、南京农业大学、西南农业大学、四川农学院、山西农业大学、河北农业大学、湖南农学院、山东农业大学等单位进行审阅，并提出许多宝贵意见，谨在此表示感谢。

编 者

一九七九年元月

第一版编写人员：

主 编	西北农业大学	李昌纬	
	华南农业大学	连兆煌	
编写人员	北京农业大学	毛达如	杨志福
	沈阳农业大学	邱忠祥	金耀青
	东北农学院	余容扬	
	西北农业大学	肖俊璋	
	华中农业大学	尹名济	
	福建农学院	林齐民	
	吉林农业大学	周祖澄	
	天津师范学院	王燾宽	

目 录

绪论	1
第一章 误差的基本理论	5
第一节 误差的概念及其度量	5
第二节 事件与概率	13
第三节 随机变量的概率分布	17
第四节 样本平均数的分布	26
第五节 抽样技术	29
第二章 试验设计	35
第一节 试验研究的种类及一般程序	35
第二节 试验方案设计	38
第三节 试验方法设计的基本原理	47
第三章 田间试验法	49
第一节 田间试验方法设计	50
第二节 田间试验的实施	63
第三节 田间试验的收获及资料的初步整理	71
第四节 特殊条件下的田间试验特点	75
第四章 培养试验法	80
第一节 培养试验的特点、种类及发展概况	80
第二节 土培试验方法	82
第三节 水培试验方法	88
第四节 砂培试验方法	97
第五节 其他培养试验	101
第六节 农化培养室的建立	113
第五章 统计假设的检验	117
第一节 统计假设检验的概念	117
第二节 t 检验	119
第三节 计数资料差异显著性的检验	124
第六章 方差分析	129
第一节 方差分析的基本原理	129
第二节 双方向资料的方差分析	134
第三节 方差分析的数学模型	135
第四节 农化试验结果的方差分析实例	137
第七章 线性回归	164
第一节 相关与回归的概念	164

第二节 直线回归	167
第三节 多元线性回归	178
第四节 逐步回归	194
第八章 非线性回归	208
第一节 可直线化的曲线回归	208
第二节 多项式回归与正交多项式	211
第九章 协方差分析	225
第十章 调查研究	238
第一节 调查方案	239
第二节 调查方法	241
第三节 农业化学调查研究方法举例	242
第四节 资料的整理与总结	252
附录	263
附录表	266
上册参考资料	296

绪 论

一、科学试验在农业化学发展中的作用

农业化学是研究植物营养和施肥的科学。它的主要任务是研究土壤养分状况及其演变规律，作物对养分的吸收利用规律和肥料的性质，特别是研究这三者之间的相互关系，进而确定合理施肥的措施，以调节这些关系，达到培肥土壤、提高作物产量与改良产品品质的目的。

科学来源于实践。农业化学是人类在农业生产实践和科学试验中对植物营养和施肥的不断认识的总结。人类在数千年的农业生产实践中，经过长期的反复的实践—认识—再实践，逐步形成了土壤具有肥力的概念，认识到各种自然肥料的增产作用，总结出利用自然肥料、栽培绿肥以及因土因作物进行合理施肥等一系列技术措施。我国农业历史悠久，早在战国时期就有了施肥的记载。但是自然界和生产中出现的现象往往是错综复杂的，是内外因素综合作用的结果。通过生产实践，只能在宏观上去认识所发生的现象，不能深入到微观世界去说明事物内部变化的实质。所以从生产实践所得到的经验，常带有一定的局限性。要想深入地认识和掌握事物内在的规律性，还必须借助于科学试验。

人们在对客观事物的观察中，积累了许多感性认识，从这些感性认识的抽象，形成了假设，然后根据假设进行科学试验。科学试验就是用人工的办法使欲研究的现象发生在便于研究的条件和环境中，以检验假设能否成立。由试验所得到的结果，再回到生产中去，既指导生产实践，又受生产实践的检验，人们又在新的实践中，进行新的观察，积累新的事实，设置新的试验。随着不断的反复的观察、试验和分析，逐步的去粗取精、去伪存真，由此及彼、由表及里，使认识不断深化。例如在现代农业化学建立以前的很久，我国及希腊、罗马的农民已经从生产实践中认识到豆科作物的肥田养地作用，因而用它们进行轮作养地和压青肥地。但是，只靠在生产实践中的直接观察，根本无法知道，它们为什么能肥地。随着科学的发展，十九世纪中叶，布森高（Boussingault）在人工控制条件下，进行了七年细致的田间试验、砂培试验和化学分析以后，才在1841年明确提出了：“豆科植物能利用空气中的氮素使土中氮素增加，而其它植物则只能从土中吸收氮素”的论断。又经过四十多年（1883—1886年）海罗芮格（Hellrigel）经过培养试验的观察分析，又确定了根瘤在豆科植物氮素营养中的作用。1888—1890年伯尔蓉克（Beijerinck）进一步从根瘤中分离出了根瘤菌。根瘤菌的发现为根瘤菌剂在生产上的应用，提供了理论基础。近几十年来，人们对根瘤菌的固氮机制进行了长期的试验研究。现在已能说明豆科作物固氮的主要化学过程和参与固氮作用的酶作用。科学家们正在努力争取将它们应用到化

肥工业和遗传工程上去,以期能为农业提供更多而廉价的化肥和能固氮的作物新品种。在一定意义上讲,农业化学的发展史是不断进行科学试验的历史。

二、农业化学的研究方法及其意义

先进而严密的研究方法能推动科学技术的不断发展。只有掌握了相应的研究方法,才能保证在最短的时间内,以最高的精确度、效率和可靠性来完成预期的研究任务。在农业化学发展过程中,不断完善起来的研究方法也始终起着十分积极的作用。农业化学研究法的内容包括生物、化学、物理、数学的各种试验研究方法和调查研究方法。这些方法各有它的特点和局限性,将它们密切配合即能相辅相成,使研究不断深入。

田间试验是农化研究的基本方法。它是在田间自然的土壤气候条件下进行的生物试验。它的任务是在田间条件下阐明各种肥料的肥效,不同肥料相互配合的交互效应及土壤、植物、肥料间的相互作用,为合理施肥提供科学依据,为不同土壤、气候、农业技术条件选择最佳施肥方案。因为它是在最接近于生产条件的情况下进行的,应用它不但能研究不同因素的作用方向,而且能研究不同因素在具体的土壤、气候和技术条件下作用的大小,它的结果在生产上具有更实际的指导意义。一切用其它方法获得的试验成果在应用于生产以前也都应经过田间试验的检验。

培养试验是在人工控制水分、光照、温度等条件下,采用特殊容器,给予特定营养环境进行的作物营养与施肥的研究,根据栽培作物的营养环境条件又可将它分成土培、砂培、水培以及其它特殊的培养方法。培养试验的任务是进一步揭露作物营养和各种肥料效应的实质,确定因素的作用方向。它可以是田间试验的深入和补充,也可以是对生产中的农化问题进行的探索试验。

农业化学分析是研究土壤—植物—肥料体系内营养物质运动的必需手段。它可以与其它方法配合,鉴别这些过程中出现的有关化学现象;也可以在原有研究基础上,独立进行营养诊断和障碍因素诊断等,为施肥提供建议。

统计分析是用数学逻辑研究总体变量的方法。它从误差理论出发,一方面提出控制误差的具体途径,帮助确定正确的试验设计,以减少试验误差,提高试验工作的精确度;另一方面,它研究误差出现的规律性,确定对各类试验数据中误差的估计方法,帮助评定试验结果的可靠性,使试验者能客观地认识试验资料,进而合理地判断试验结果,做出正确的科学结论。所以它在包括试验研究和调查研究的各种方法中都是不可缺少的手段。

示踪技术就是利用放射性及稳定性核素能示踪的特性,追踪它们的变化以揭露物质运动的规律。示踪技术在农化研究中的应用,为深入了解植物营养和新陈代谢的实质,为探索和揭露土壤、植物、肥料三者之间的复杂关系提供了新的手段。在田间试验、培养试验及实验室试验中应用示踪技术,可以缩短试验进程,简化操作手续,提高工作效率,特别是能揭示原来无法解决或解决不够深入的问题。例如,植物对土壤及肥料中营养元素的吸收利用率,肥料成分在土壤中的转化及损失机制;营养元素在植物体中的同化过程;生物

固氮的实质等,用示踪技术进行试验研究,都获得了更加深入的认识。

调查研究也是研究农业化学的一个重要方法。解放三十多年来土壤农化科技工作者深入生产实际,与农民群众结合进行了大量的调查研究,应该认真总结在这面积累的工作经验。和试验研究一样,调查研究的方法、内容也随着科学的发展而不断地完善着。在进行农化方面的调查研究时应尽可能带上必要的分析鉴定仪器,在调查现场时,应注意采集必要的样品,准备在实验室内进一步分析研究。

除了上述常用的方法外,从胶体、能量、电化学等各种物理化学角度对土壤、植物、肥料体系内的动力学研究也在不断深入。生物化学和微生物学技术也被更加广泛的引进农业化学研究中来。

当前,科学技术以原子能的利用、电子计算机技术和空间技术的发展为主要标志,正在经历着一场深刻的技术革命。农业化学的不少方面也在变革之中,对土壤营养、植物营养和肥料效应过程进行数学模拟的研究,已经有了相当进展。电子计算机及一些快速、精确、自动化分析仪器的应用,对于人类进一步掌握土壤、植物、肥料以及它们中间相互关系的客观规律,并对营养施肥进行预测预控,提供了良好的条件,展示了宏伟的前景。现代一些新型分析仪器的特点是自动化、精度高、速度快。它们在农化研究中的应用,提供了在短时间内进行大量样品的分析,对于许多因素进行多元分析和对于生活的作物进行动态研究的有利条件。过去的肥料试验往往根据少数田块的增产效应及其误差范围,来考察某一地区土壤对于肥料的需求情况。近年已趋向于通过大量田块的多点试验来说明问题。随着电子计算机的应用,大大促进了试验研究方法的发展,如近代发展起来的回归旋转设计,回归最优设计以及模拟试验等,已逐步应用于各种试验研究之中。

但是,我们也不能被那些五光十色的现象所迷惑,农化研究的内容虽然很多,其中最主要、最基本的仍然是生物方法和数理统计。

三、农业化学研究法的任务

科学是生产力。实现四个现代化,关键是抓好科学技术现代化。现代化农业必须建立在先进的农业科学技术的基础上。在农业中要真正开展好科学种田,也必须组织好以专业研究队伍为骨干带动亿万农民参加的持续而深入的农业科学试验活动。由于土壤、肥料、作物种类的千变万化,而它们还受到不同地区、不同年份等自然条件变化的影响,在植物营养和施肥问题的研究中始终存在着两方面的任务:一方面必须继续深入地研究土壤—植物—肥料体系的各种基本规律,以及人工调控农业中营养物质循环过程的技术措施;另一方面在运用已知的农化知识从事生产活动时,还必须结合当时当地的特殊条件和要求,进行具体的试验研究。例如,我们既要深入研究氮素化肥利用率低的基本理论及控制方法,又要细致观察当前在本地区不同生产水平的村庄中,在不同土壤、不同作物情况下,各种氮肥的实际损失情况和肥效,考察各种提高氮肥利用率的措施在当地的具体效果。这两者之间存在着提高和普及的辩证关系,在普及的基础上提高,在提高的指导下普及。提高时

需要有严谨的科学试验；普及中也要组织大量细致的试验研究，昨天看去还是局限于专业研究的工作；今天、明天可能已经普及到生产试验中去。因此，从事农业化学专业研究工作的同志必须熟练地掌握研究方法，不断地应用先进的理论和技术推动农业化学试验研究的发展，这是实现农业现代化的迫切需要。所以，农化研究法决不仅仅是大学、科学院的研究人员需要学习掌握的手段，对深入生产第一线工作的农化工作者，也要不断进行科学研究实践。本课程的任务在于：使学生掌握基本方法，及对这些方法的正确运用，以期能在最短时间内、以最高的精确性和可靠性完成研究任务。

鉴于农业化学分析方法已发展成独立的课程，本课不再论述。其它各校可根据不同情况具体安排：田间和土培试验，可围绕课程设计及实习进行；水培、砂培等培养试验，可用示范、参观、电教等方式予以介绍；回归分析部分的编写，应用到线性代数，如有的学校未设此课，可用简表形式少讲一些内容；因学时限制，逐步回归部分也可只做简要介绍。

示踪技术另编为下册，也是考虑到各校课程设置的不同，可放在研究法课中，也可单开独立课。

第一章 误差的基本理论

试验研究是认识世界和改造世界十分有效的工具，对于发展生产和提高科学水平有着非常重要的推动作用。

由于偶然因素的客观存在，任何试验研究，误差总是难免的，尤其是生物试验，受环境条件的影响更大，造成误差的因素更多。试验误差的大小，反映了试验精确度的高低和试验结果的可靠程度。试验误差愈小，试验的精确度愈高，试验愈可靠，试验结果也就能更好的反映客观规律，可以更好地去认识和改造世界；反之试验误差愈大，试验的可靠性愈差，试验结果也就不能很好的反映客观实际，甚至优劣颠倒，南辕北辙。应用不可靠的试验结果，不仅不能正确地认识和改造世界，甚至还会受到客观规律的惩罚。由此可见，误差是试验研究中一个十分重要的问题，它直接关系到试验研究的成败和能否达到预期的结果。要搞好试验研究，必须掌握误差的产生、形成、分布规律以及如何控制和正确估计误差的基本理论与方法。

由于试验误差是在进行试验的整个过程中产生和形成的，所以，从试验的设计到试验实施的全部过程中，都需要以误差理论作指导，以达到降低试验误差，提高试验精确度的目的，并为试验结果的统计分析打下基础。

第一节 误差的概念及其度量

一、总体与样本

总体就是同质事物的全体，也称全群或集团。构成总体的每一个成员叫做个体或总体单元。所谓同质，也不是绝对的，而是相对的，是有条件的，是随着研究目的而变的。比如我们研究小麦籽粒中氮素的含量，所有小麦就构成一个总体，每一品种小麦籽粒中的含氮量就是一个总体单元；如果我们仅研究“丰产三号”小麦籽粒中的氮素含量，则其总体只包括所有“丰产三号”小麦，而不同栽培条件下“丰产三号”小麦籽粒中的含氮量就是一个总体单元。因此，总体的大小，也就是总体所包含个体数目的多少，可能是有限的，也可能是无限的，前者称为有限型，后者称为无限型。误差理论大多都是建立在无限型总体的基础上。

我们对事物的观察和研究，在于找出其总体的客观规律性。由于一个总体中所包含的个体往往很多，甚至无穷，以致在研究时不能对其一一加以考察；有时测定是破坏性的，尽管总体所包含的个体有限，也不允许全部加以考察。因此，我们只能从总体中取出一部

分个体进行研究,这部分个体的总合叫做样本或抽样总体。几乎所有的研究工作,都是通过样本来了解总体。根据包括个体数目的多少,样本也有大小之分,一般包含个体 30 个以上者为大样本,30 个或 30 个以下者为小样本。

二、真值与平均值

在一定条件下,事物所具有的真实数值就是真值。由于偶然因素不可避免的存在和影响,实际上真值是无法测得的。如测定一个土样的含氮量,由于测定仪器、测定方法、环境条件、测定过程、测定者的技术等因素的影响,测定十次就可能得到十个不同的结果。显然,土样含氮量的真值只有一个,在十个结果中就无法肯定那一个是真值。偶然因素对事物的影响,有正有负,有大有小,根据误差分布定律,偶然因素对事物的正负作用大小相等,概率相同。因此,如果将土样含氮量测定的次数无限增多,求出所有测定结果的平均值,则偶然因素的正负作用相抵消,在无系统误差的情况下,这个平均值就极近于真值,一般就把这个平均值当作真值看待。在实际中,我们的测定次数总是有限的,故其平均值只能是近似真值或称最佳值。

平均值的另一个意义,它是变事物物的代表值,能反映变事物物的集中性。任何事物的存在,总是和它周围的环境条件联系在一起的。同一总体中的个体,不可能都处在绝对相同的条件之中,因而个体间的变异也是必然的。例如在同一麦田中,不同植株的高度、穗长、粒数、粒重等总是有差异的。总体平均值由于偶然因素正负作用的抵消,所以最能反映总体的典型水平和总体集中性的特征。凡能说明总体特征的数值如平均值、方差、标准差、变异系数等称为总体特征数,亦称参数。一般都是假定总体特征数来自无限型总体,所以我们可以把总体特征数作为真值来理解。样本特征数是总体特征数的近似值或估计值,称为统计数或统计值。

同一总体中,个体间具有变异的每种性状或特性,在量的方面可以表现为不同的数值,对于这种因个体不同而变异的量,在统计上称为变量,而不同个体在某一性状上具体表现的数值,则称为观察值。如小麦株高就是一个变量,某株高 102cm 就是一个观察值。变量有连续与不连续之分。总体中相邻两个观察值之差可达无限小者为连续变量,相邻两个观察值之差最小为 1 者是不连续变量,或称非连续变量。

平均值有多种,在农业化学研究中应用最广的是算术平均值。算术平均值也称平均数或均数,是观察值总和除以观察值个数的商。

设样本平均数为 $\bar{x}$ (读 x bar), 其观察值为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, 则

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x}{n} \quad (1.1)$$

式中: Σ 为求和的意思, $\sum_{i=1}^n x_i$ 为 $\sum x_i$ 的简写, 表示从 x_1 加到 x_n 的和。

由 (1.1) 得:

$$\sum x - n\bar{x} = 0$$

同时:

$$\sum (x - \bar{x}) = \sum x - n\bar{x} = 0 \quad (1.2)$$

由 (1.2) 知: 一个样本中各个观察值与平均数的差数 $(x - \bar{x})$ (称离均差) 的总和即 $\sum (x - \bar{x})$ 等于零, 这是平均数很重要的特性之一。

在计算平均数时, 如果观察值 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 在样本中的比重不同, 式 (1.1) 就不适用, 应按加权平均数法进行计算。其计算公式为:

$$\bar{x} = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2 + f_3 x_3 + \dots + f_n x_n}{f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_n} = \frac{\sum f x}{\sum f} \quad (1.3)$$

式中 $f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$ 为 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 在样本中所占的比重, 称为权数, 即对不同观察值有权衡轻重的作用。用式 (1.3) 求出的平均数一般称加权算术平均数, 简称加权平均数。如果不同观察值的 f 相等, 则式 (1.3) 与式 (1.1) 完全相同。

例如某农场共种五块小麦, 各地块的面积为 10, 20, 40, 15, 15 亩, 其对应的小麦产量为 300, 250, 200, 150, 300 kg/亩, 求这个农场小麦的平均亩产。

显然, 各地块的面积不同, 其亩产在全场平均亩产中的比重也就不同, 故应按式 (1.3) 进行计算。各地块的面积为 f , 各地块的亩产为 x , 则:

$$\sum f x = 10 \times 300 + 20 \times 250 + 40 \times 200 + 15 \times 150 + 15 \times 300 = 22750$$

$$\sum f = 10 + 20 + 40 + 15 + 15 = 100$$

$$\therefore \text{农场平均亩产 } (\bar{x}) = \frac{\sum f x}{\sum f} = \frac{22750}{100} = 227.5 \text{ kg/亩}$$

由于资料性质的不同, 或者为了方便起见, 在实际中除了算术平均值以外, 还有以下几种平均值。

(一) 中数 一个总体或样本的所有观察值, 依大小排列成一个数列, 当观察值的个数为奇数时, 居中间位置的观察值谓之中心数, 如观察值的个数为偶数时, 则以中间两个观察值的算术平均值为中数。中数不受特大特小极端值的影响。

(二) 众数 在一个总体或样本中, 出现次数最多的那个观察值 (不连续变量) 或频数最多的一组的中点值 (连续变量) 称为众数。如棉花纤维检验时所用的主体长度即为众数。

(三) 几何平均数 如一个总体或样本中有 n 个观察值, 所有观察值相乘积的 n 次方根称几何平均数, 用 G 代表。

$$G = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n} = \lg^{-1} \left[\frac{\lg x_1 + \lg x_2 + \dots + \lg x_n}{n} \right] \\ = \lg^{-1} \left[\frac{1}{n} \sum \lg x \right] \quad (1.4)$$

几何平均数可用以求人口增长率等类资料的平均数。

(四) 调和平均数 资料中各个观察值倒数的平均数的倒数称为调和平均数。

设调和平均数为 H , 观察值为 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 则

$$H = \frac{1}{\frac{1}{n} \left(\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum \frac{1}{x}} = \frac{n}{\sum \frac{1}{x}} \quad (1.5)$$

例如从土壤表面下 30cm 处起, 测量水分在土壤毛管中上升的速度, 第一个 10 cm 的上升速度为每分钟 8 cm, 第二个 10 cm 为每分钟 6 cm, 第三个 10 cm 为每分钟 4 cm。求其平均速度必须用调和平均数, 即

$$\text{平均速度 } H = \frac{1}{\frac{1}{3} \left(\frac{1}{8} + \frac{1}{6} + \frac{1}{4} \right)} = 5 \frac{7}{13} \text{ cm/min}$$

三、误差的概念、种类及产生原因

误差就是观察结果与真值之间的差异。在抽样观察中, 每次样本观察的结果, 必然与总体之间有差异, 这种差异一般称抽样误差。根据误差的性质及产生的原因, 误差可以分为下列几种。

1. 偶然误差 这种误差是由偶然因素引起的, 如在田间试验中, 土壤肥力的不均匀性, 试验材料的不一致性, 田间操作的差异, 病虫害、鸟兽害等以及其他偶然因素的干扰, 都能引起误差。所以这种误差的产生是偶然性的, 是不能预知的, 也是不可避免的, 只能减小, 不能消除。偶然误差也和其它随机事件一样, 是服从一定的概率分布的, 其发生是受概率的大小所支配, 所以偶然误差也称机误, 通常在试验中所谈的误差均指机误而言。根据研究表明, 机误是服从正态分布的, 因此, 我们可根据正态分布估计机误的大小, 判断试验的精确程度, 从而由样本推知总体的规律性。以后所讲的各种试验设计方法, 大多都是围绕这一问题, 降低试验误差, 提高试验精确性。

2. 系统误差 由于某个因素所引起的误差, 在同一试验中始终朝着一个方向, 其大小和符号基本相同, 如土壤肥力朝一个方向递增或递减, 试验地朝一个方向有利或不利于作物生长, 仪器不良以及个人的习惯与偏向等都会引起系统误差。这种误差可以根据其发生的原因加以校正, 是可以消除的。

由于疏忽大意, 操作不正确等主观因素所造成的错误, 如管理不严、施肥不均、记错、称错、数错等, 这和误差不同, 它无规律可循。小的错误, 可以增大试验误差, 降低试验的可靠性, 大的错误可以导致试验报废。因此, 在试验中必须认真负责, 严格要求, 多方警惕, 细心操作, 千方百计避免各种错误的发生。

四、误差的度量

同一总体中不同个体所处的环境条件不同, 受偶然因素的影响各异, 形成的误差大小不一, 个体间就产生了变异。误差不可免, 变异就是绝对的。因此在说明一个总体时, 不

仅需要描述其集中性的特征数，而且还需要描述其变异性的特征数。度量总体变异程度也就是误差大小的方法，常用的有以下几种：

(一) **极差** 总体或样本观察值中最大值与最小值之差称为极差，亦称全距或变异幅度，用 R 表示，即

$$R = \max \{x_1, x_2, \dots, x_n\} - \min \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1.6)$$

式中： $\max$ 和 $\min$ 分别表示 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 中的最大值和最小值。极差简单直观，便于计算，其缺点是只取两极端值，与其它观察值不发生关系，没有充分利用数据所提供的信息，不能完全说明观察值间的变异程度，所以反映实际情况的精确度较差。

(二) **方差** 平均数是总体或样本的代表值，以平均数为标准，每个观察值与平均数的偏差即误差，称离均差，可以说明不同观察值的变异程度。一个总体或样本包含很多观察值，就有很多离均差，要反映总体或样本变异的一般水平，就应求出离均差的平均值，但是，不论总体或样本的变异情况如何，把所有的离均差加起来，由于正负相抵消，总是等于零，无法反映变异大小。为了克服这个问题，可用离均差的绝对值，但计算上不甚方便，最好的办法是将离均差平方，不仅消除了负号，而且使离均差增大，更有利于度量变异程度的灵敏性。离均差平方的平均数就称为方差。

设总体的平均数为 μ ，方差为 σ^2 ，其计算公式为：

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x - \mu)^2}{N} \quad (1.7)$$

式中： $\sum (x - \mu)^2$ ——离均差平方和简称平方和。

N ——总体中观察值的个数。

总体的方差一般不易获得，通常是用样本进行估计，根据数学理论推知，要达到无偏估计，样本方差的计算公式如下：

设样本含有 $x_1, x_2, \dots, x_n$ n 个观察值，平均数为 $\bar{x}$ ，方差为 S^2 ，则

$$S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (1.8)$$

一个样本含 n 个观察值，则得 n 个离均差，由于受 $\sum (x - \bar{x}) = 0$ 这个条件的限制，其中有 $n - 1$ 个可以自由变动，最后一个就没有变动的自由，例如有 4 个观察值，其中 3 个离均差为 2, 2, -3，则第 4 个离均差就必须等于 -1，才能达到 $\sum (x - \bar{x}) = 0$ ，所以在统计学上把 $n - 1$ 称为自由度。显然，如受 k 个条件限制，则自由度就是 $n - k$ 。

(三) **单次标准差** 方差的平方根称为单次标准差，简称标准差。在计算方差时，离均差经过平方，原来的度量单位（如 kg, cm 等）也随之变为平方，再经开平方又恢复原来的度量单位，所以标准差是个有名数，其度量单位与观察值相同。

设总体标准差为 σ ，样本标准差为 S ，则

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{N}} \quad (1.9)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (1.10)$$

在计算方差或标准差中, 计算 $\sum (x - \bar{x})^2$ 是主要工作, 有时直接计算较为麻烦, 需要采取简化方法, 常用的有:

1. 变量平方法

$\therefore$

$$\begin{aligned} \sum (x - \bar{x})^2 &= \sum (x^2 - 2x\bar{x} + \bar{x}^2) \\ &= \sum x^2 - 2\bar{x}\sum x + n\bar{x}^2 \\ &= \sum x^2 - 2\bar{x}n \frac{\sum x}{n} + n\bar{x}^2 \\ &= \sum x^2 - 2n\bar{x}^2 + n\bar{x}^2 \\ &= \sum x^2 - n\bar{x}^2 \\ &= \sum x^2 - n \left(\frac{\sum x}{n} \right)^2 \\ &= \sum x^2 - n \frac{(\sum x)^2}{n^2} \\ &= \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \end{aligned}$$

$$\therefore S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}} \quad (1.11)$$

2. 数值缩简法

设 a 为任意数 $x' = x - a$ $\bar{x}' = \bar{x} - a$

则 $x = x' + a$ $\bar{x} = \bar{x}' + a$ 代入平方和公式得:

$$\begin{aligned} \sum (x - \bar{x})^2 &= \sum [(x' + a) - (\bar{x}' + a)]^2 \\ &= \sum (x' + a - \bar{x}' - a)^2 \\ &= \sum (x' - \bar{x}')^2 \\ &= \sum x'^2 - n\bar{x}'^2 \\ &= \sum x'^2 - \frac{(\sum x')^2}{n} \end{aligned} \quad (1.12)$$

式 (1.12) 证明, x 减去一任意数后进行计算, 与用 x 直接计算平方和完全相等。在实际中, 如观察值数值较大, 可按情况减去一数, 再根据式 (1.11) 进行计算, 能大大减