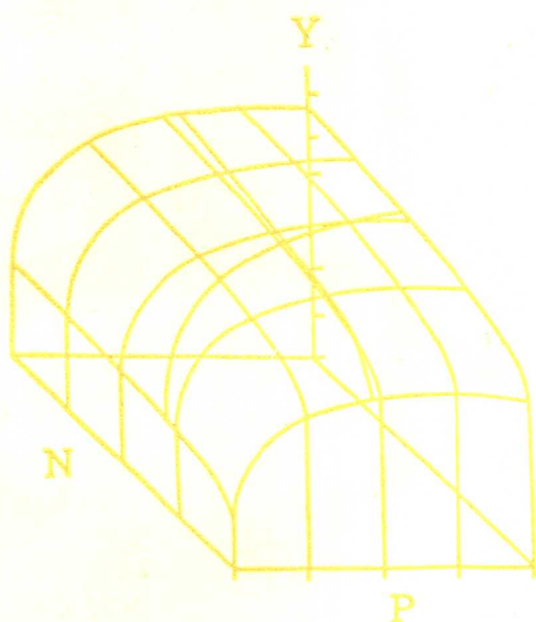


国家“七五”科技攻关

黄淮海平原中低产地区综合治理研究专著

黄淮海平原主要作物优化 施肥和土壤培肥技术

经济施肥和土壤培肥
专题组



$$Y = b_0 + b_1N + b_2P + b_3N^2 + b_4P^2 + b_5NP$$

中国农业科技出版社



黄 淮 海 平 原

主要作物优化施肥和土壤培肥技术

经济施肥和土壤培肥专题组 编

主编 杨守春

编审：陈伦寿 毛达如 刘光崧 孙庚寅
孙昭荣 刘菊生 张 宁 陈同斌

中国农业科技出版社

内 容 提 要

黄淮海平原中低产地区综合治理是国家“七五”科技攻关项目,大面积经济施肥和土壤培肥是其中的一个研究专题。五年来,采用回归设计,数学模型和计算机程序处理等现代技术与试验、示范和推广相结合的方法,不仅取得了丰硕的科研成果,而且使优化施肥模型在几种主要作物上大面积推广应用,将过去定性的经验施肥上升到定量的科学施肥,取得了明显的经济效益。为了使科研成果进一步转化为生产力,本书选择优秀论文32篇,汇编成册出版。内容包括施肥模型和最佳施肥方案、计算机施肥咨询系统、土壤测试方法的相关研究和土壤培肥研究四个方面。

本书内容充实,技术先进,科学性、生产性和实用性较强,可供农业生产部门、农业科研单位的科技人员以及农业院校的师生阅读参考。

黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥技术

经济施肥和土壤培肥专题组 编

责任编辑 王涌清

封面设计 孙宝林

*

中国农业出版社出版(北京海淀区白石桥路30号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市通县永乐印刷厂印刷

开本 787×1092毫米 1/16 印张:14.875 字数:354千字

1991年3月第一版

1991年3月第一次印刷

印数:1—2000册 定价:8.0元

ISBN 7-80026-207-3/S·161

研究报告（代序）

黄淮海平原包括五省二市，地处暖温带，水热资源丰富，地形平坦，土层深厚，交通方便，是我国粮棉油肉的重要生产基地。为了适应国民经济和农业商品化生产的需要，国家对黄淮海平原的综合治理和开发十分重视。“七五”期间，国家将黄淮海平原作为区域性开发的重点，同时列为“七五”国家重点科技攻关项目，建立了12个不同类型综合治理综合发展实验区和6个关键性的技术专题，“大面积经济施肥和土壤培肥技术研究”就是其中的专题之一。

科学施肥和培肥土壤，把旧式农业中封闭式的养分循环改变为开放式的养分循环，为作物高产稳产创造一个良好的土壤环境，是黄淮海平原农业开发带有战略性的决策。长期以来，我国有相当一部分地区仍然停留在盲目施肥或经验性施肥的阶段，不仅没有充分发挥肥料的增产作用，而且影响了农业生产的迅速发展。因此国家立题开展“黄淮海平原大面积经济施肥和培肥技术研究”是非常必要的。

一、承担单位、协作单位和研究人员

本研究从1986年开始到1990年完成，参加单位和协作单位12个，参加研究和试验的科技人员88人。在国家计委、国家科委、农业部等上级领导部门和课题、专题主持单位的领导下，与各县紧密配合，经过5年艰苦努力，取得了重大科技成果，圆满完成了考核目标任务。

现将专题、子专题主持单位、主持人参加人员和协作单位及参加人员列举如下

专题主持单位：中国农业科学院土壤肥料研究所

专题主持人：杨守春

子专题主持单位和研究人员

1. 禹城、陵县经济施肥和培肥技术研究子专题，由中国农业科学院土壤肥料研究所负责。负责人：杨守春、孙昭荣、刘菊生、闵九康；参加人员：杨守春、孙昭荣、刘菊生、闵九康、张宁、熊锦香、沈桂琴、刘秀奇、陈同斌、薛泰麟、张振山、程明芳、袁栋、高淑琴、丁红。

2. 曲周经济施肥和培肥技术研究子专题，由北京农业大学土壤与植物营养系负责。负责人：陈伦寿、毛达如、祖康祺；参加人员：陈伦寿、毛达如、陆景陵、曹一平、邵则瑶、祖康祺、王兴仁、骆美贞、张承东、郭廷亮。

3. 封丘经济施肥和培肥技术研究子专题，由中国科学院南京土壤研究所负责。负责人：刘光崧、周伟金、沈荣明；参加人员：刘光崧、周伟金、沈荣明、游长芬、蒋能慧、林岳、戴苏生、施建平、马龙、许兵。

4. 宿迁经济施肥和培肥技术研究子专题，由江苏省农业科学院土壤肥料研究所负责。负责人：孙庚寅、赵守仁；参加人员：孙庚寅、赵守仁、黄耀、王树平、王顺香、朱万宝、张恒昌、邱嘉璋。

协作单位及参加人员

山东禹城县农业局：马吉祥、陈来望、温立国、刘春先、蔡光荣、费廷勇、王立华、赵新军、王保生。

山东陵县农业局：何淑奇、史洪章、刘兆兴、李建华、马朝、孟立新、赵秀芳

山东陵县棉办：李绍虞、胥风召、刘宝占。

河北曲周县土肥站：郭瑞、赵香玉、黄国新、张树荣、刘阳、牛建国、吕湘春、白燕军、王志芳、鲁红英、刘海珍等。

河南封丘县农技站：董学周、张启俊、王昆、王百顺、冯法动、连东亮、姬辛让、朱启俊、朱雁鹏。

江苏宿迁市农业局：胡德勇、蔡则惠、史居贤、刘秉正、张维钦。

江苏淮阳市农业局：黄启武、黄竹芝。

二、主要研究目标、内容和技术路线

（一）主要研究目标

1. 研究提出黄淮海平原主要作物施肥模型、最佳施肥方案及其经济效益。
2. 研究建立5县（禹城、陵县、曲周、封丘、宿迁）计算机施肥推荐和咨询系统，为大面积科学施肥服务。
3. 提出土壤培肥的主要途径和有效技术。

（二）主要研究内容

1. 小麦、玉米、棉花、水稻等主要作物多点分散田间试验、施肥模型和最佳施肥方案的研究。
2. 主要作物最佳施肥方案应用条件的判别、校验研究，以及大面积经济施肥的推广应用和经济效益分析。
3. 与推荐施肥相配套的土壤测试技术的研究，包括土壤有效氮、有效磷、剖面无机氮和土壤有效养分测试方法自动化的研究。
4. 5县主要作物计算机施肥和咨询系统的研究和建立。包括建立肥料试验数据库，统计分析程序包，5县主要作物施肥推荐和咨询系统。
5. 土壤培肥途径及其有效技术的研究。包括不同种植制度条件下无机促有机，不同氮、磷（或钾）组合用量培肥增产定位试验研究；有机肥、化肥结合施用培肥效应的研究；豆科作物（包括绿肥，饲草等）在培肥中的作用；防止氮素损失措施和评判土壤肥力方法等。

（三）技术路线

田间肥料试验设计，各试点县均采用二因素多水平回归设计，进行多年多点分散试验；土壤测试方法的相关研究，调节秸秆C/N比和施肥模型效率比较的研究等采用盆栽试验；作物土壤养分平衡研究，土壤酶和尿素在土壤中移动和分布研究采用模拟试验；土壤培肥采用长期多点定位试验。对试验结果应用聚类分析、数学模型和计算机程序处理等现代技术进行综合分析研究。同时还采用试验、示范和推广相结合的方法，这些研究方法科学性强，技术先进，并紧密联系生产实际。

三、主要研究成果

(1) 完成了5县4种作物田间肥料试验885个, 获得不同施肥处理的产量数据11921个, 土壤养分测试数据6195个, 其他信息和参数10204个, 为科学施肥、建立施肥数据库、施肥推荐和咨询系统提供了可靠的资料。同时研究提出了不同肥力条件下小麦、玉米、水稻、棉花的施肥模型和相应条件下最佳、最高施肥方案及其经济效益分析, 从中得出了有关施肥效应的规律性认识。

(2) 研究提出了施肥模型和优化施肥方案应用条件的判别技术和校正因素参量。包括主要作物基础产量与常年产量的相关模式, 基础产量与土壤养分的相关模式, 土壤养分测试值和地力基础产量的动态聚类判别方法等。

(3) 建立了5县计算机施肥咨询系统。施肥咨询系统包括数据库、统计分析程序库、和施肥咨询三个主要部分。具有对试验数据贮存、检索, 统计分析, 建立模型, 根据用户提供的地力条件、土壤养分指标、常年产量等情况, 提出优化施肥量, 预报产量和经济效益等咨询服务的各种功能。

(4) 系统地进行了土壤有效养分测试方法的相关研究, 提出了与最佳施肥相配套的5项土壤测试技术, 其中有3项改进(半微量碱解扩散法, 土壤剖面无机氮测试技术, SB/D联合浸提磷等多种元素), 2项自动化新技术(有效养分联合浸提剂与ICP测定技术联网, 电超滤浸提土壤养分与连续流动分析联网)。

(5) 研究提出了无机促有机, 有机无机结合, 利用生物固N, 适当安排豆科作物轮、套、间作等综合培肥途径和多项有效技术。

(6) 1988~1989年在黄淮海平原5县, 应用施肥模型和最佳施肥方案推广216.23万亩。每亩增产小麦17.2~37.5公斤, 玉米64.1~74.8公斤, 水稻35.8公斤, 棉花5.1~8.7公斤, 平均每亩增收节支31.9元, 直接经济效益6888.6万元, 社会效益也十分显著, 在黄淮海平原类似条件下, 具有广阔的应用前景。

(7) 建立了五个不同类型优化施肥基地县。与当地政府和技术推广部门紧密合作, 为开展优化施肥服务。为5个基地县无偿提供了计算机施肥咨询系统研究成果的程序软件, 各配备了一台微机, 机房及必要的设施, 培训了计算机使用人员。5个县重建或补充完善了化验室, 增添了仪器设备, 培训了化验技术员, 现在均可正常开展土壤肥料化验工作。为5县建立了一支推广应用优化施肥新成果的技术队伍。据不完全统计培训了200多名初、中级科学施肥技术骨干, 二万多名农民技术员, 有了一支优化施肥技术队伍。经过5年的试验研究和大面积推广应用, 取得了显著的经济效益和社会效益, 当地党政领导和广大农民对优化施肥技术十分欢迎。

四、专题组织管理工作经验

(一) 明确攻关目标, 统一计划, 统一技术要求

专题组一开始就十分重视攻关目标, 统一技术要求和采用先进技术, 经过反复研究讨论, 确定以主要作物的最佳施肥方案、模型、计算机施肥推荐和咨询系统作为主攻目标, 围

绕主攻目标，确定了统一的研究内容和试验方案，统一的测试方法和测试项目。各承担单位，根据统一的目标任务和技术要求，分工负责，开展了大量的试验研究工作，完成了田间试验885个，11921小区，采取土样近2000个，分析化验7000多项次。在取得大量数据、资料的基础上，采用数学模型和计算机处理等现代技术进行综合分析研究，较好地完成了上述研究任务。

（二）研究和开发应用紧密结合

为了将研究成果迅速转化为生产力，专题组采取试验、示范和推广相结合的方法，在前两年取得小麦、玉米、棉花和水稻四种作物的最佳施肥方案的同时，积极开展较大面积示范校验工作，取得了较好的反馈信息，证明根据施肥模型提出的最佳施肥方案是行之有效的。在此基础上进行了大面积示范和推广工作，据不完全统计共推广四种作物优化施肥面积达216.23万亩，增收节支6888.6万元，取得了显著的经济效益和社会效益，深受黄淮海地区各级领导重视和广大农民的欢迎。

（三）树立科技支农思想

为了很好地完成大量田间试验，使优化施肥新技术和科研成果在生产上长期发挥作用，专题组各单位主要科技人员十分重视搞好技术培训，把科学技术送到农村，举办培训班。为县、乡农业技术干部、试验农户和农民技术员讲授肥料田间试验的目的要求，试验技术与方法和科学施肥知识，同时在作物生长关键季节，深入田间安排试验，调查研究，发现问题及时解决。据不完全统计，为五个试点县培训200多名初、中级农业技术骨干，2万多名农民技术员，建立了一支推广科学施肥的技术队伍。同时为五个试点县配备了计算机，研制了施肥推荐和咨询系统，补充完善了化验仪器设施，并培训计算机使用和化验分析技术人员。这样，优化施肥新技术和研究成果，可以在当地扎根开花结果，在生产中长期发挥作用。上述作法完全改变了过去“拿钱买数据”，写文章，报成果，科研与生产脱节的老路子。对此，当地领导、技术干部和农民非常满意，很受鼓舞。

（四）不断总结交流，团结协作搞好攻关

攻关任务能否顺利完成，加强管理、团结协作，充分发挥各承担单位、协作单位科技人员的积极性十分重要。专题组采取以下做法，效果很好。

1. 签订专题、子专题合同书，强调完成国家攻关任务的重大意义，加强责任感。
 2. 定期召开专题工作会议，传达贯彻领导部门对攻关任务的指示要求，协调各单位存在的问题，统一技术方案，总结交流攻关进展情况和工作经验，并布置下一阶段工作。
 3. 召开重要技术讨论会，如计算机咨询系统小型学术讨论会，交流了国内外研究信息，讨论了关键技术，加速了研究工作进展。
 4. 专题组到试点县进行考察、检查评比，召开现场会、现场验收会。
 5. 专题组与上级部门、专题与子专题、试点县之间不断加强书面联系，及时传达贯彻上级任务要求，上报研究计划、进展、成果、总结等。
 6. 组织有关专家，对子专题验收、汇总专题成果、科研论文等。
- 以上作法，加强了管理，交流了情况和经验，增进了团结，加速了攻关进程。

五、研究论文出版说明

通过“七五”研究，本专题形成了科研报告论文45篇，共50万字，档案资料29卷，计算机数据库及应用软件11盘以及录相幻灯等，资料齐全。本专题全面完成了合同规定的各项研究内容，达到考核目标和经济技术指标，取得了重大科技成果和显著的社会、经济效益。曾于1989年受到国家计委、国家科委、财政部表彰奖励，并于1990年8月通过部级鉴定验收。专家认为，本项研究试验设计科学、技术路线正确，研究方法先进、试验严格，资料完整，数据可靠。在施肥模型及其优化施肥方案，应用条件的判别技术，有效养分测试方法的相关研究和计算机施肥咨询系统等方面取得重大进展。本项研究整体水平较高，技术先进、配套，实用性广，经济、社会效益显著，在国内是一项开创性研究工作，在学术上达到国际先进水平。

为了向国家有关领导部门、科技界、产业部门、地方政府，农业技术推广部门，全面汇报和介绍该项攻关成果，促进成果交流。同时为了加速科技成果转化为生产力更好的为农业生产服务，为此，将本专题研究的大部分论文编辑出版，以便与同行之间进行进一步的交流和讨论。本书内容充实，科学性、生产性和实用性较强，可供各地农业生产部门、农业科研单位，大专院校参考。

由于时间仓促、水平有限，错误之处，欢迎读者批评指正。

杨守春

1990年10月

目 录

研究报告(代序)	(1—5)
黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥研究总论	(1—26)

施肥模型和最佳施肥方案

肥料多点分散试验结果的动态聚类分析	(27—32)
推荐施肥技术中施肥模型与试验设计效率的研究	(33—39)
禹城县冬小麦施肥模型和最佳配方的研究	(40—47)
陵县小麦施肥模型和氮、磷最佳施用量的研究	(48—57)
曲周县冬小麦优化配方施肥模型和效应反馈的研究	(58—65)
封丘县小麦经济施肥的建模与推荐	(66—73)
宿迁市小麦施肥模型及其应用的研究	(74—78)
禹城县夏玉米施肥模型及其应用判别技术的研究	(79—86)
曲周县夏玉米优化配方施肥模型和效应反馈的研究	(87—92)
宿迁市水稻施肥模型及其应用的研究	(93—97)
禹城县棉花施肥模型和最佳配方的研究	(98—104)
陵县棉花优化施肥模型及最佳配方的研究	(105—113)

计算机施肥咨询系统

经济施肥试验数据库的建立	(114—118)
禹城县小麦、玉米、棉花施肥咨询系统的建立	(119—125)
陵县小麦、棉花计算机施肥咨询系统	(126—130)
曲周县计算机施肥决策与咨询服务系统	(131—133)
封丘县推荐施肥咨询系统的建立	(134—138)
宿迁市稻麦作物计算机施肥咨询系统	(139—144)

土壤测试方法的相关研究

土壤有效氮化学测试方法的评价与改进	(145—150)
利用根层(0~100cm)土壤剖面残留 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量预报冬小麦夏玉米的需氮量	(151—162)
土壤有效磷测试方法的评价	(163—167)
ECC 推荐施肥系统的研究	(168—172)
应用“土壤系统熵”对土壤肥力的评判	(173—175)

土壤培肥研究

禹城县小麦玉米施肥定位试验研究初报	(176—179)
禹城县棉花定位培肥效果的研究	(180—184)
陵县土壤培肥定位研究	(185—193)
曲周县中低产田培肥途径的定位研究	(194—203)
在施用玉米秸秆条件下添加氮素调节碳氮比的研究	(204—212)
睢宁县肥料定位试验研究初报	(213—217)
秸秆绿肥过腹还田的增产培肥效果	(218—223)
石灰性潮土中几种酶活性与肥力因素的相关研究	(224—228)

黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥研究总论

杨守春* 陈伦寿* 刘光崧 孙庚寅

孙昭荣* 刘菊生* 曹一平* 陈同

一、前言

科学施肥与土壤培肥是不可分割、相辅相成的两项技术措施。在科学施肥的前提下,才能逐步培肥土壤;在土壤培肥的基础上,才能更有效地发挥施肥的作用。因此,如何进一步发挥作为物质投入的肥料在发展农业生产中的巨大潜力,为作物高产稳产创造一个良好的土壤环境,乃是黄淮海平原农业开发带有战略性的决策。

黄淮海平原地跨五省二市,现有耕地2.7亿亩,其中2/3属于中低产田,目前生产水平虽然不高,但是一旦科学技术武装了农业,其增产潜力却是很大的,可为国家提供更多的粮、棉、油、肉等农畜产品,从而作出它应有的贡献。因此,在黄淮海地区土壤旱涝盐碱危害基本得到整治的情况下,“七五”期间,国家立题开展“黄淮海平原大面积经济施肥和培肥技术研究”是非常及时和十分重要的。

我国施肥技术长期以来一直停留在经验性施肥阶段。不仅肥料资源未能充分发挥其增产作用,而且大大延缓了我国农业生产迅速发展的进程。

80年代科学施肥的重要标志之一是施肥定量化。一百多年来,许多科学家一直注意研究作物产量(Y)与施肥量(X)之间的数量关系。本世纪初(1909)德国著名土壤学家米采利希(E. A. Mitscherlich)是用 $Y=A(1-10^{-CX})$ 肥料效应方程来描述作物产量与施肥量之间数量关系的第一人。后来,尼克莱(H. Niklas)和米勒(M. Miller)首次用二次多项式(抛物线方程)来表示上述关系。库克(G. W. Cooke)对折线(相交直线)式、逆多项式和二次多项式等肥料效应模型的差异进行了比较。近年来柯维尔(J. D. Cowell)等在应用肥料效应函数指导合理施肥方面作了大量的研究,对推动这一工作的发展作出了贡献。

我国从80年代初,在农业部的倡导下,开始引进国外先进方法,在全国范围内开展了这一研究。先后召开了几次全国配方施肥技术经验交流会,并制定了“全国配方施肥工作要点”,初步总结出3大类6种配方方法,对推动全国配方施肥工作的发展起了积极作用。随着

该项研究主持单位,中国农业科学院土壤肥料研究所,参加单位北京农业大学,中国科学院南京土壤所,江苏农业科学院土壤肥料研究所,*为执笔人,

数理统计方法和计算机技术的日益发展,国内外不少科学家将推荐施肥与计算机技术相结合,因而有一些计算机施肥系统相继问世,但都存在一些不足之处。例如,美国Ritchie教授提出的“作物-环境资源综合系统”(简称CERES系统)。该系统以大量的气候、作物品种、生理特性、水分及养分平衡等机理作为依据,仅对小麦、玉米作物进行氮素推荐。国内福建省农业科学院提出的“土壤识别与优化施肥”,中国科学院人工智能所提出的“砂姜黑土小麦施肥专家系统”以及其他有关单位在计算机施肥系统方面也都做过一些有益的探索。

本专题是以大量的田间试验结果和分析数据为依据,经过多点试验资料的归类或聚类,建立起多种作物不同肥力条件下的肥料效应的数学模型,并经过大量田间校验建立了五县计算机施肥推荐和咨询系统。与前人的研究成果相比,该系统具有明显的特点,较高的精度以及用户有较多的选择条件。

本专题(75-04-01-14)由中国农业科学院土壤肥料研究所主持,中国农业科学院土壤肥料研究所、中国科学院南京土壤研究所、江苏省农业科学院土壤肥料研究所和北京农业大学等单位共同承担,分别与山东禹城、陵县,河南封丘,江苏宿迁和河北曲周等五县农业局,陵县棉办密切协作。从1986年开始,执行科技合同所规定的各项研究任务,在各承担单位和协作单位的共同努力下,现已完成合同所规定的各项研究任务,并于1990年8月14~15日通过部级鉴定验收。专家认为:“黄淮海平原主要作物施肥模型和施肥咨询系统”成果,在国内是一项开创性工作,达到国际水平。

二、研究目标和方法

(一)研究目标

1. 研究提出小麦、玉米、棉花和水稻等主要作物的施肥模型、氮磷最佳施肥方案及其经济效益;

2. 建立5县(禹城、陵县、曲周、封丘和宿迁)县级计算机施肥推荐和咨询系统,为大面积科学施肥服务;

3. 提出不同地区土壤培肥的主要途径和有效技术。

(二)主要研究内容

1. 主要作物优化施肥的研究

(1) 小麦、玉米、棉花、水稻等四种主要作物多点分散试验和施肥模型的研究;

(2) 四种主要作物不同肥力土壤条件下最佳施肥方案及其经济效益的研究;

(3) 四种主要作物大面积优化施肥技术的推广应用和经济效益分析。

2. 与优化施肥相配套的土壤测试技术的研究

(1) 土壤有效氮测试方法的相关研究;

(2) 土壤根层剖面无机氮的研究;

(3) 土壤有效磷测试方法的研究;

(4) 土壤有效养分测试方法自动化的研究。

3. 计算机施肥推荐和咨询系统的研究

(1) 肥料试验数据库的建立;

- (2) 统计分析程序包的研制;
- (3) 县级主要作物计算机施肥推荐和咨询系统的建立。

4. 土壤培肥

- (1) 无机促有机, 不同氮、磷(或钾)组合用量培肥增产定位研究;
- (2) 有机肥、化肥配合施用培肥土壤的研究;
- (3) 不同有机物料直接还田或过腹还田的增产、培肥效果与经济效益分析;
- (4) 豆科作物(包括绿肥、饲草)在培肥增产中的作用;
- (5) 评判土壤肥力指标方法的研究。

(三) 试验类型和设计

1. 田间试验

采用田间小区试验了解不同作物的氮磷肥料效应是本专题的主要研究方法。各试验县所采用现代回归试验设计有以下几种方法:

- (1) 禹城、陵县点: 采用氮磷二因素五水平13处理回归均匀布点设计。
- (2) 封丘点: 采用氮磷二因素四水平16处理正交多项式回归设计。
- (3) 宿迁点: 采用氮磷二因素五水平11处理的D-饱和最优设计。
- (4) 曲周点: 采用氮磷二因素三水平9处理完全均衡设计(简称 3×3 设计)。

上述不同试验设计同优, 均可建立肥料效应方程(数学模型), 同时各有特点。联合国粮农组织(FAO)提出的 3×3 设计水平数少, 搭配均匀, 工作量小, 便于实施。四水平16处理和五水平13处理设计, 内差小, 可获更多信息, 并可适用正交多项式模型, 但工作量较大。

除了小区试验外, 各点还开展了三区示范试验(即对照区、配方施肥区和习惯施肥区)进行田间校验研究。

2. 盆栽试验

- (1) 土壤测试方法与作物产量的相关研究;
- (2) 施肥模型和试验设计效率的研究;
- (3) 施用玉米秸秆条件下, 添加氮素调节C/N的研究。

(四) 模型选择

目前, 国内外学者一致认为二次多项式模型能较好地模拟作物产量与施肥量之间的数量关系, 其中二次式($S=1$)模型呈典型抛物线, 可用于灌溉地的施肥决策, 其通式为:

$$Y = b_0 + b_1N + b_2P + b_3N^2 + b_4P^2 + b_5NP$$

但是, 平方根式($S=0.5$)模型, 由于在最佳施肥点附近有一段斜率比较小, 产量增量趋于平缓的区域, 在这个较宽的区域内, 适当减少施肥量对产量和经济效益并无明显影响, 因此平方根式($S=0.5$)模型用于缺肥地区的建模工作更为适宜。其通式如下:

$$Y = b_0 + b_1N^{0.5} + b_2P^{0.5} + b_3N + b_4P + b_5N^{0.5}P^{0.5}$$

(五) 多点试验资料的归类和聚类方法

多点试验资料如何科学地加以归并, 用以分类指导是优化施肥工作中值得研究的一个技术问题。本项研究在实践中做了不同方法的探索。

1. 按地力基础产量(即 b_0 值)水平归类法: 经过模糊聚类、逐步判别和地力基础产量水平等方法比较研究表明, 按地力基础产量水平归类, 效果较好。由于地力基础产量水平是

土地生产能力的综合反应，以它作为多点试验资料归类的综合指标是符合实际的，方法简单易行。禹城、陵县、封丘、宿迁按照这种方法将小麦、玉米、棉花、水稻的多点试验结果归并为4类或5类，所得的类方程的R和F值都达到了极显著水平，精度也比较高。

2. 按产量等级归类法：按照农民在常年平均施肥水平(N12公斤左右， P_2O_5 6公斤/亩)所获得的小麦产量划分为5个等级。宿迁点的研究表明，按产量等级分类的方法，综合地反映了不同土壤或田块的供肥能力和肥料效应。它比按土壤类型归类更为合理，也更有实用性。各产量等级的类方程的F值均达到了极显著水平。

3. 多因素动态聚类法：肥料效应方程聚类的理论基础是根据土壤养分等参数进行土壤肥力判别，将反映同质肥料效应规律的两个点的原始数据合并，求出一条反映这两个点作物产量与施肥量关系的新效应方程。其统计学原理是采用F检验方法，检验各试验点的回归方程间是否反映同质肥料效应规律，把反映同质规律的一些试验点，视为同一类土壤肥力和生产技术水平。然后把属于同一类的各试验点的原始数据合并，求得各处理的平均值，称为类均值，再通过类均值求得反映该类土壤肥力和生产水平条件下的肥料效应方程，称为类特征肥料效应方程（简称类方程）。动态聚类法就是根据上述原理采用不断变动类均值的办法，用新的类方程与另一个试验点进行土壤肥力判别，确定能否合并，如此循环反复，直到实现稳定为止，上述全部计算过程由长城0520计算机完成。曲周点用这种方法将多点小麦试验结果聚成4类，玉米聚成3类。田间校验结果证明，用于推荐施肥，反馈性良好。它为建立县级计算机施肥推荐和咨询系统提供了一种汇总多点试验资料的新方法。

三、主要研究成果

（一）主要农作物施肥模型、最佳配方及其经济效益的研究

1. 取得了主要作物氮、磷增产效应的大量数据和规律性认识

获得了五县小麦、玉米、水稻、棉花等主要作物田间肥料试验885个，不同施肥处理的产量数据11921个，土壤肥力指标数据6195个，其他有关信息和参数10204个，为建立肥料试验数据库、施肥推荐和咨询系统提供了可靠资料。

根据885个施肥田间试验资料，可以得出有关施肥效应规律性认识。

（1）施肥增产潜力，中低肥力土壤最大，高肥力土壤相对减少。例如，禹城县夏玉米101个试验平均，每亩施N10公斤， P_2O_5 8公斤，低肥力土壤比对照增产184.6公斤，中肥力土壤增产125.1公斤，高肥力土壤增产89.7公斤。

（2）氮、磷配合施用比氮、磷单施有明显增产作用。例如，陵县92个小麦试验平均，每亩施N10公斤， P_2O_5 8公斤，比对照增产110.7公斤，同样数量肥料单施合计只增产86.3公斤。现将三种作物氮、磷配合施用与氮、磷单施每公斤养分的增产效应列表如下（表1）：

（3）不同地力基础产量的施肥效应，低肥力（基础产量最低）土壤最高产量出现在高氮高磷施肥处理，由中肥力到高肥力的土壤最高产量出现在中氮中磷或更低的施肥处理，由此说明，要获得较高的产量，施肥量应根据地力基础产量加以调整。低肥力土壤的有效养分最低，施肥量应相应增多，随着土壤肥力增高，施肥量则相应减少。

上述事实说明，要提高施肥增产效应，必须把肥料投入重点，由高肥力土壤转向中低肥力土壤，并实行氮、磷配合施用。这样既可经济用肥增产增收，又可提高中低产田的土壤肥

表1

氮磷配合施用与氮磷单施每公斤养分增产效应

单位: 公斤

作物	县名	试验个数	N ₅ P ₄	N ₁₀ P ₈	N ₁₀	P ₈
小麦	禹城	95	9.9	7.4	5.2	7.3
小麦	陵县	92	9.2	6.2	3.3	6.7
玉米	禹城	101	11.0	7.1	8.8	4.5
			N ₄ P _{2.5}	N ₈ P ₅	N ₈	P ₅
棉花	禹城	99	4.9	3.3	3.3	3.6
棉花	陵县	96	4.5	2.9	2.8	3.9

力, 进一步促进全面均衡增产。

2. 研究提出了不同肥力土壤条件下主要作物的肥料效应方程

肥料效应方程 (亦称施肥模型) 是模拟施肥量和产量之间数量关系的一种数学模型, 应用这种模型可以对作物进行定量施肥。本专题的肥料效应方程是以先进的回归试验设计, 多年大量田间试验为基础, 采用科学归类、聚类方法, 应用二元二次或平方根数学模型和电子计算机程序处理进行分析研究得到的。各种作物的肥料效应方程经过F值检验, 都达到极显著水平, 说明这些方程所表达的产量和施肥量之间关系是很密切的。现将各种作物不同肥力土壤的肥料效应方程列举如下 (详见表2, 3, 4, 5)。

3. 研究提出了不同肥力条件下最高、最佳施肥量

根据达到最高产量时, 边际产量等于零和最佳施肥点应符合边际收益等于边际成本的原则, 应用以下公式求二元二次方程的偏导数。

$$\begin{aligned} \partial Y / \partial N &= b_1 + 2b_3N + b_5P = P_N / P_C & \partial Y / \partial N &= b_1 + 2b_3N + b_5P = 0 \\ \partial Y / \partial P &= b_2 + 2b_4P + b_5N = P_P / P_C & \partial Y / \partial P &= b_2 + 2b_4P + b_5N = 0 \end{aligned}$$

式中P_C, P_N, P_P分别代表农产品、N、P₂O₅的单价, 将作物产品、N、P₂O₅单价, 不同肥力等级下肥料效应方程的系数分别代入上列二式, 即可求得不同肥力等级下四种作物的最高产量施肥量、最佳施肥量、最高和最佳产量及其经济效益, 见表6, 7。

研究结果表明, 采用最佳施肥配方, 每亩平均施肥利润, 小麦: 禹城133元, 陵县98元, 曲周125元, 封丘114.6元, 宿迁195.2元; 棉花: 禹城82元, 陵县64元; 玉米: 禹城52元, 曲周61.3元; 水稻: 131.2元, 总的看来经济效益是显著的。见表6, 7。

与此同时还研究提出了4种作物最高产量施肥量, 并比较分析了禹城、陵县、迁宿4种作物最高产量施肥量与最佳施肥量的效益, 结果表明, 采用最佳施肥量经济效益显著增加。小麦最高产量施肥量比最佳施肥量, 每亩需增施养分5.9~6.6公斤, 产量只增加5.5~6.2公斤, 每亩利润降低5~10元; 玉米最高产量施肥量比最佳施肥量, 每亩需增加养分9.8~12.6公斤, 每亩只增收玉米20公斤左右, 每亩利润降低11~26元; 水稻最高施肥量比最佳施肥量每亩增施养分2.4~4.6公斤 (平均3.3公斤), 每亩只增收稻谷2~6公斤 (平均3.8公斤), 每亩平均降低

表2

不同肥力土壤小麦-肥料效应方程

县别	地力等级 (基础产量, 公斤/亩)	肥料效应方程	F值
禹城	<200 低肥力 n=37	$y=150.4+8.71N+15.12P-0.28N^2-0.49P^2+0.08NP$	142.2***
	200~250 中下肥力 n=26	$y=226.5+10.76N+8.65P-0.34N^2-0.27P^2-0.02NP$	36.5**
	250~300 中上肥力 n=13	$y=270.9+11.50N+10.8P-0.32N^2-0.35P^2+0.0001NP$	108.3**
	>300 高肥力 n=19	$y=336.5+4.99N+9.70P-0.18N^2-0.38P^2+0.04NP$	10.4**
陵县	<150 低肥力 n=21	$y=119.6+4.77N+9.79P-0.16N^2-0.37P^2+0.075PN$	33.0**
	150~200 较低肥力 n=34	$y=172.6+6.9N+11.0P-0.20N^2-0.38P^2-0.016NP$	23.6**
	200~250 中下肥力 n=15	$y=222.8+9.86N+13.02P-0.34N^2-0.48P^2+0.005NP$	13.2**
	250~300 中上肥力 n=14	$y=258.1+6.02N+12.60P-0.16N^2-0.47P^2-0.09NP$	17.9**
	>300 高肥力 n=8	$y=329.3+6.04N+10.41P-0.23N^2-0.41P^2+0.08NP$	12.17**
曲周	低肥力 n=4	$y=81.9+4.89N+12.57P-0.215N^2-0.916P^2+0.079NP$	92.7**
	中肥力 n=64	$y=158.3+8.8N+28.12P-0.372N^2-1.883P^2+0.137NP$	140.6**
	中高肥力 n=12	$y=235.6+11.12N+19.8P-0.483N^2-1.47P^2+0.155NP$	276.2**
	高肥力 n=7	$y=280.4+16.71N+14.94P-0.716N^2-0.911P^2+0.064NP$	168**
封丘	低肥力	$y=136.6+67.7N^{0.5}+33.52P^{0.5}-7.96N-5.13P+1.35N^{0.5}P^{0.5}$	116.3**
	中肥力	$y=221.1+46.78N^{0.5}+19.23P^{0.5}-0.59N-2.35P+0.25N^{0.5}P^{0.5}$	63.0**
	高肥力	$y=339.5+11.45N^{0.5}+10.359P^{0.5}-0.65N-0.19P-0.98N^{0.5}P^{0.5}$	1.9
宿迁	<100 低肥力	$y=90.1+28.5N+19.77P-0.975N^2-1.924P^2-0.311NP$	11.9**
	100~150 较低肥力	$y=131.7+25.1N+8.3P-0.894N^2-0.789P^2+0.0034NP$	86.3**
	150~200 中肥力	$y=169.6+20.04N+9.88P-0.677N^2-1.064P^2+0.147NP$	130.6**
	200~250 中高肥力	$y=219.2+20.3N+7.4P-0.713N^2-0.74P^2-0.055NP$	33.11**

表3

不同肥力土壤玉米-肥料效应方程

县别	地力等级 (基础产量, 公斤/亩)	肥料效应方程	F 值
禹城	<300 低肥力 $n=26$	$y=241.7+19.5N+6.88P-0.64N^2-0.20P^2+0.04NP$	88.0***
	$300\sim350$ 中肥力 $n=20$	$y=334.9+14.1N+7.94P-0.40N^2-0.29P^2+0.013NP$	59.9**
	$350\sim400$ 中上肥力 $n=18$	$y=376.9+9.82N+6.49P-0.28N^2-0.22P^2-0.028NP$	31.7**
	$400\sim450$ 较高肥力 $n=19$	$y=435.7+6.64N+8.73P-0.20N^2-0.36P^2+0.016NP$	22.1**
	>450 高肥力 $n=18$	$y=526.1+10.3N+5.18P-0.33N^2-0.12P^2-0.04NP$	5.7**
曲周	低肥力 $n=15$	$y=221.5+16.04N+16.83P-0.77N^2-1.236P^2+0.24NP$	25.3**
	中肥力 $n=48$	$y=347.5+13.688N+20.826P-0.567N^2-1.472P^2+0.113NP$	19.6**
	高肥力 $n=4$	$y=496.6+6.11N+14.437P-0.294N^2-1.844P^2+0.047NP$	20.6**

表4

不同肥力土壤棉花-肥料效应方程

县别	地力等级 (基础产量, 公斤/亩)	肥料效应方程	F 值
禹城	<150 低肥力 $n=17$	$y=120.26+6.36N+8.16P-0.17N^2-0.45P^2-0.06NP$	195.6**
	$150\sim200$ 中下肥力 $n=38$	$y=181.53+4.31N+3.44P-0.16N^2-0.14P^2-0.03NP$	20.1**
	$200\sim250$ 中上肥力 $n=25$	$y=244.8+4.13N+4.83P-0.14N^2-0.24P^2+0.002NP$	37.7**
	>250 高肥力 $n=19$	$y=280.1+3.82N+3.86P-0.19N^2-0.24P^2-0.02NP$	19.4**
陵县	<150 低肥力 $n=36$	$y=125.222+3.8151N+4.9471P-0.1355N^2-0.2588P^2-0.041NP$	39.82**
	$150\sim200$ 中下肥力 $n=27$	$y=174.4953+3.5646N+5.3006P-0.1264N^2-0.2917P^2-0.021NP$	26.82**
	$200\sim250$ 中上肥力 $n=21$	$y=227.0562+2.8674N+5.0593P-0.069N^2-0.2404P^2-0.1144NP$	17.0**
	>250 高肥力 $n=12$	$y=275.7435+1.9025N+5.4041P-0.0708N^2-0.3052P^2-0.0865NP$	29.26**

表5

宿迁县不同肥力土壤水稻-肥料效应方程

基础产量 (公斤/亩)	肥料效应方程	F 值
>250	$y=234.4+28.58N+6.25P-0.999N^2-0.624P^2-0.005NP$	55.45**
251~300	$y=279.7+27.34N+8.32P-0.996N^2-0.492P^2+0.0002NP$	12.08**
301~350	$y=331.7+20.23N+10.39P-0.779N^2-0.804P^2-0.045NP$	36.84**
351~400	$y=379.5+20.5N+8.49P-0.905N^2-0.993P^2-0.01NP$	55.6**
>400	$y=443.9+15.77N+3.33P-0.772N^2-0.422P^2+0.096NP$	9.88**

收益3.6元；棉花最高产量施肥量比最佳施肥量每亩增施养分3.1~5.5公斤，籽棉产量只增加1.3~2.7公斤，每亩降低利润2.2~5.8元（平均4.2元）。因此，采用最佳施肥量是一种高产高效益的科学施肥方法。

表6 1986~1989年5县小麦不同肥力土壤条件下最高、最佳产量施肥量及经济效益分析

地点	基础产量 分类	基础产量	最高产量	最高产量施肥量 N P ₂ O ₅		最佳产量	最佳施肥量 N P ₂ O ₅		最佳施肥利润 (元/亩)
禹城	200公斤以下, n=37	150.4	355.6	17.9	16.8	350.4	14.6	14.5	174.7
	200~250公斤, n=26	226.5	373.7	15.2	15.1	367.9	12.9	11.4	115.4
	250~300公斤, n=13	270.9	459.7	18.2	15.6	454.4	15.5	12.6	157.6
	>300公斤, n=19	336.5	440.7	15.4	13.5	433.4	10.5	10.5	69.1
陵县	<150公斤, n=21	119.6	235.8	17.8	15.0	227.4	12.0	11.6	76.36
	150~200公斤, n=34	172.6	307.8	16.5	14.2	301.7	12.5	11.5	101.1
	200~250公斤, n=15	222.8	383.2	14.5	13.6	378.9	12.1	11.4	134.5
	250~300公斤, n=14	258.1	379.9	15.5	11.9	374.1	10.8	10.2	92.3
	>300公斤, n=8	329.3	450.4	15.6	14.2	443.9	11.4	11.3	86.4
曲周	低产 n=4	81.9	159.5	12.7	7.95	154.8	8.61	6.09	55.01
	中产 n=46	158.3	329.6	13.4	7.96	326.9	11.02	7.31	161.93
	中高产 n=12	235.6	379.5	12.69	7.40	377.12	10.84	6.59	131.64