



中国农业百科全书



# 中国农业百科全书

农业化学卷

农业出版社

北京

1996年6月

## 中国农业百科全书编辑出版领导小组

主 任 何 康

副 主 任 (按姓氏笔画顺序)

王发武 卢良恕 丛子明 刘瑞龙 刘锡庚  
许力以 李 本 张季农 武少文 姜椿芳  
常紫钟 梁昌武 薛伟民

## 中国农业百科全书总编辑委员会

主 任 何 康 刘瑞龙

常务副主任 卢良恕

副 主 任 (按姓氏笔画顺序)

王发武 石 山 朱元鼎 刘锡庚 杨显东  
李友久 沈其益 张含英 金善宝 郑 重  
郑万钧 郝中士 俞大绂 徐元泉 陶鼎来  
程纯枢 程绍迥 蔡子伟

委 员 (按姓氏笔画顺序)

马大浦	马世骏	马德风	王 凯	王万钧	王发武
王金陵	王泽农	王耕今	王镇恒	方中达	方悴农
毛达如	石 山	卢良恕	丛子明	丛明善	冯 寅
冯秀藻	孙 羲	吕 平	任继周	朱元鼎	朱弘复
朱则民	朱明凯	朱祖祥	朱莲青	刘志澄	刘瑞龙
刘锡庚	刘德润	许力以	许振英	华国柱	邱式邦
庄巧生	齐兆生	严 恺	何 康	汪菊渊	陆星垣
陈 道	陈华癸	陈陆圻	陈延熙	陈俊愉	陈恩凤
陈凌风	陈幼春	杨立炯	杨守仁	杨显东	李友久
李长年	李庆逵	李连捷	李竞雄	李曙轩	吴中伦
吴福楨	沈 隽	沈其益	余大奴	张光斗	张仲威
张含英	张季农	张季高	武少文	罗玉川	金常政
金善宝	周明祥	郑 重	郑万钧	郑丕留	郝中士
赵洪璋	赵善欢	胡祥璧	胡道静	侯光炯	侯学煜
俞大绂	饶 兴	娄成后	贺修寅	费鸿年	袁隆平
徐元泉	徐冠仁	殷宏章	高一陵	陶鼎来	陶岳嵩
黄宗道	常紫钟	梁昌武	梁家勉	韩熹莱	舒代新
蒋次升	程纯枢	程绍迥	曾德超	游修龄	谢 华
蒲富慎	裘维蕃	鲍文奎	蔡 旭	蔡子伟	蔡盛林
管致和	臧成耀	樊庆笙	薛伟民	瞿自明	

## 农业化学卷编辑委员会

主任 孙 羲

副主任 史瑞和 郭鹏程 陶勤南

委员 (按姓氏笔画顺序)

马国瑞	毛达如	尹名齐	尹崇仁	史瑞和	孙 羲
孙秀廷	朱兆良	刘更另	刘芷宇	刘武定	何增耀
陈汝钧	杨玉爱	李庆逵	李仁岗	李光晨	张乃凤
张耀栋	张勤争	林荣新	周厚基	胡霭堂	饶立华
郭鹏程	陶勤南	秦遂初	谢建昌	鲁如坤	

## 农业化学卷各分支编写组主编、副主编

总 论	主 编	孙 羲
植 物 营 养	主 编	饶立华
	副主编	郭鹏程 胡霭堂
土 壤 养 分	主 编	谢建昌
	副主编	鲁如坤 朱兆良
肥 料	主 编	杨玉爱
	副主编	林荣新 张耀栋
作 物 施 肥	主 编	李仁岗
	副主编	马国瑞 尹崇仁
作物营养诊断	主 编	秦遂初
	副主编	尹名齐 刘武定
农业化学研究方法	主 编	陶勤南
	副主编	何增耀 张勤争

# 前 言

《中国农业百科全书》是一部荟萃中外古今农业科学知识的大型工具书。

中国农业历史悠久，农业科学知识的积累源远流长。中国历代刊行的许多农学著作是中华民族文化宝库的重要组成部分。北魏贾思勰的《齐民要术》，明代徐光启的《农政全书》，被誉为中国古代的农业百科全书，至今为国内外学者所珍视。到了现代，由于科学技术突飞猛进，农业生产迅速发展，农业科学已发展成为多学科构成的综合体系。面向现代化，面向世界，编纂出版具有现代意义的《中国农业百科全书》，把农业各学科的知识准确而简明地提供给读者，是学术界和广大读者的共同愿望。

中国农村经济已在向专业化、商品化、现代化转变。现代农业的基本特点，是广泛地运用先进的科学技术和经营管理方法，以加速农业的全面发展。为了逐步实现农业现代化，需要加速发展农业科学研究和教育事业，培养众多的农业科学技术人才，向广大农民普及农业科学技术知识。需要运用现代农业科学原理，整理历代农学遗产，总结农业生产实践经验，需要吸收和引进国外先进的科学技术。因此，编撰出版一部全面而扼要地介绍人类现有农业科学技术知识的大型工具书，是建设社会主义现代化农业的迫切需要。

1980年初，国家农业委员会决定编撰出版《中国农业百科全书》，开始进行筹备工作；1981年6月成立了编撰出版领导小组和总编辑委员会，负责领导和指导编撰出版工作，并责成农业出版社设立中国农业百科全书编辑部，从事具体工作。1982年，国家农业委员会撤销后，全书编撰出版工作由农牧渔业部主管，与林业部、水利电力部、机械工业部、国家气象局等有关部局协作，保证了工作的顺利进行。

编撰《中国农业百科全书》，以马克思主义、毛泽东思想为指导，以农业各学科的知识体系为基础，组织农业科学界和有关部门的专业工作者进行撰稿、审稿；发扬学术民主，坚持实事求是的科学态度，讲求书稿质量，贯彻百科体例，使其具有中国特色和风格。

《中国农业百科全书》以汇总农、林、牧、渔各业自然再生产和经济再生产的知识为基本内容，在概述基础理论的同时，重视应用技术的介绍，具有一定的专业深度和实用性。它的主要读者是农业科学技术工作者、农业大专院校师生、具有高中

或相当高中文化程度以上的农业干部和农民。这部专业性百科全书，以条目的形式介绍知识和提供相应的资料，每个条目是一个独立的知识主题；不仅具有一般工具书检索方便、查阅容易的特点，而且由浅入深地介绍知识，有助于读者向知识的深度和广度探索。

《中国农业百科全书》以农业各学科的知识体系为基础设卷，计划出25卷(31册)，按卷陆续出版；标示卷名，不列卷次，同一学科或专业设两册者，则注明上、下。采取这种设卷方式，便于读者按需要购买，也便于分卷编撰出版。

《中国农业百科全书》的编撰出版，是中国农业科学事业的一项基本建设。在编撰过程中，得到有关高等院校、科研单位及生产部门的大力支持，并得到国家有关领导部门和有关学会的热情关怀、指导，在此谨致诚挚的谢意。编撰这样大型的专业百科全书，我们缺乏经验，书中疏漏之处，恳请读者批评指正，以便再版时修订。

中国农业百科全书编辑部

1984年10月

# 凡 例

一、全书以农业各学科知识体系为基础设卷。卷由条目组成。

二、条目按条题第一个字的汉语拼音字母顺序排列。同音时,按阴平、阳平、上声、去声的声调顺序排列;同音同调时,按笔画的多少排列;音、调、笔画数相同时,按起笔笔形(一、丨、丿、丶、-)顺序排列。第一字相同时,按第二字的相应顺序排列,余类推。条题由拉丁字母、俄文字母、希腊字母或数码开头的,排在末尾。

三、绝大多数条题后附有对应的英文。属中国特殊内容的条题,一般不英译。

四、各卷正文前设本卷条目的分类目录,供读者了解内容全貌或查阅一个分支或一个大主题的有关条目之用。为了保持学科或分支学科体系的完整并便于检索,有些条目可能在几个分类标题下出现。

五、一个条目的内容涉及到其他条目,需由其他条目释文补充的,采用“参见”方式。所参见的条题在本释文中出现的,用黑体字排印。所参见条题未在本条释文中出现的,另加“见”字标出。

六、条目释文中出现的外国人名、地名、外国组织机构名,一般用汉语译名,后附原文。

七、黑白插图随释文需要配置,彩色图片汇编成若干帖插页顺序插入卷中,并在有关条目处注明“见彩图××”。

八、正文书眉标明双码页第一个条目及单码页最后一个条目第一个字的汉语拼音和汉字。

九、各卷正文后均附该卷全部条目的汉字笔画索引、外文索引和内容索引。

十、本书所用科学技术名词以各学科有关部门审定的为准,未经审定或尚未统一的,从习惯。地名以中国地名委员会审定的为准,常见的别名必要时加括号注出。

十一、本书的计量单位,采用《中华人民共和国法定计量单位》。

## Z

**枣树施肥** (fertilization of jujube tree) 根据枣树在生长发育过程中对养分的需求,结合土壤肥特性和肥料效应而采取的施肥技术。

**需肥特性** 枣树多栽培在山地或滩涂沙荒地上,是极耐干旱、耐盐碱和耐土壤瘠薄的树种。枣树具有强的适应性,与其根系的水平骨干根(行根)显著强化、分布深远(常是树冠径的3~6倍以上)有关。枣树根系密度较小,吸收水分和养分由根系分布的深远而弥补其不足。在一年中枣树根系和地上部都活动较晚,根系生长与营养吸收的适温为21℃以上,比同一栽培地区的苹果等其他落叶果树为高。但枣树的根系和地上部分一旦开始生长,则极为迅速,因此各器官之间的养分竞争非常激烈。萌芽到开花期,以氮(N)素营养为主,供前期枝叶、花蕾生长发育之用,氮供应充足时,枣头(枣发育枝)、枣吊(枣结果枝)的生长健壮,花蕾分化质量高。开花期养分不足时,即使花多也坐不任果或坐果极少。在花期用“开甲”(枣树环割技术之特称)调节养分的矛盾,效果显著。主要是抑制花期枣头的强旺生长,减小其对养分的竞争力,有利于花和幼果对养分和生长调节物质的吸收,提高坐果率。幼果期正值枣头生长高峰后期,根系生长高峰前期,果实细胞分裂与增大十分活跃,需要大量的营养元素。此时养分不足,果实生长受到抑制,生理落果严重。即使不落果,果实小而不整齐,产量很低,根系生长减弱,吸收能力下降。枣重要产区,多为枣粮间作,尤其是枣一小麦间作。枣树开花坐果至幼果期正值麦熟季节,间作物对磷(P)、钾(K)肥需求量极大,由于农活的紧张,往往忽略了枣树的需肥情况,造成大量落果。枣树的生理落果王要起因于营养不良,从正常果与生理落果中氮、磷含量差异上可以明显地看出来(表)。果实成熟至落叶前,树体养分进入积累时期,需要大量氮,喷施氮肥可以延迟叶片的衰老,增加树体的贮藏营养。

枣树正常果与待落果中N、P、K含量(mg/kg)

果实	NH <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
正常果	350	300	40	1200
待落果	150	260	20	1600

**施肥技术** ①基肥。秋季落叶前后结合改土多施有机肥,如圈肥、堆肥、塘泥等,对树势弱的可补加氮磷钾复合肥。枣粮间作的枣园,待秋作物收获后可将秸秆埋入枣树树盘下,用作部分基肥,并兼有覆盖保墒之功效。②追肥。枣树生长期短,年内一般进行两次追肥,一是发芽肥。当基肥不足或头一年树势很弱时,提前至发芽前施用效果更好,这次追肥以土施氮肥为主,并根据土壤情况加硼(B)、锌(Zn)肥。二是幼果肥。追肥后新根增加很快,吸收水分和土壤中各种营养元素的能力提高,可缓解各器官间养分竞争的矛盾,显著减少生理落果和晚坐果的发育不良现象。③施肥数量。枣树虽然耐土壤瘠薄能力很强,但高产优质则需要大量肥料。枣果干物质成分高,其需肥量高于苹果、桃等鲜果树种。每百千克鲜枣,需N 15千克、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 10千克、K<sub>2</sub>O 13千克,每公顷产37500千克的丰产枣园需N 5625千克、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 3750千克、K<sub>2</sub>O 4875千克。④枣粮间作园的施肥。枣粮间作园,枣树栽植密度为3~5米×8~10米,行间种粮食作物(4~6米的行带),在这种情况下枣树施肥与粮食作物施肥可分别进行。行距小或粮食作物种到枣树冠下的情况,应当把枣、粮食作物的施肥统一考虑。以枣一小麦、豆类作物间作为例,施肥方法是秋播小麦时施足基肥,其中加入无机氮肥,施肥量既要满足小麦又要满足枣树的需求。麦收后正值幼果期,给枣树追施氮肥,行间豆类作物长起来后给枣树喷施磷钾肥,秋季播种小麦前把豆类作物作绿肥,翻压到土壤中,或者麦收后播种矮秆禾谷类作物,秋收时将其秸秆覆盖到枣树行内。(李光晨)

**张乃凤** (1904~ ) 中国土壤肥料学家。



1904年3月31日生于浙江湖州南浔镇,1930年获美国康奈尔大学学士学位,1931年获威斯康星大学研究生院硕士学位。回国后任南京金陵大学副教授、教授。1935~1949年任中央农业实验所技正兼土壤肥料系主任。1957~1985年任中国科学院研究员兼土壤肥料研究所副所长。

张乃凤是中国土壤肥料研究的奠基人之一。他从1935年起,在华北、华中几个省进行了中国最早的要素田间肥料试验,研究中国土壤肥力和施肥问题。抗日战争期间继续在云、贵、川、陕等省进行田间肥料试验,并与姚归耕共同整理实验结果,写出“地力之测定”一文。1957年在农业部组织和主持的全国化肥试验网的工作中,他对全国各种土壤对氮磷钾的需要进行了初步了解,开始将肥料用量与施肥时期作为研究试验的重点。70年代初,负责开展速效钾和速效锌分析研

究,并进行施锌肥的示范试验,促进了缺锌地区施用锌肥工作的发展。他与金继运等人共同研究中国土壤含钾状态和钾素营养对于农产品品质的影响,取得显著成绩。1980~1992年期间,他主持和参加的“合理施用化肥,提高化肥利用率”、“中国氮磷钾化肥的肥效演变和提高增产效益的主要途径”、“中国化肥区划”、“中国主要土壤的供钾特征及钾素状况综合评价”、“山东省土壤速效锌普查及锌肥使用技术的示范推广”等8个课题,分别获得国家科学技术进步二等奖、三等奖,农业部科技进步一等奖、二等奖,全国科学大会奖等。

(依水)

**沼气肥** (biogas manure) 各类作物秸秆、山青、湖草等植物性有机物与人畜粪尿等在沼气池内严格的嫌气条件下,经甲烷细菌等嫌气微生物发酵制取沼气的残留物,又称沼气发酵肥。英文又称 biogas wast fertilizer。

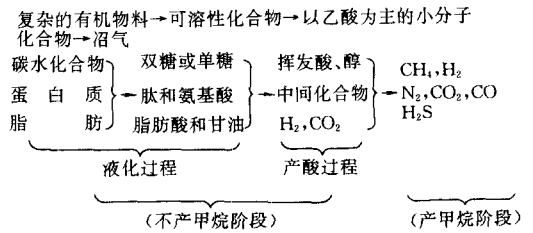
**主要成分** 沼气肥主要由沼气渣和沼气水肥两部分组成。沼气作为能源利用后,沼气池中剩余的固体残渣部分,称为沼气渣肥,液体部分,称为沼气水肥。前者约占总肥量的13%(湿重)。沼气发酵肥是由嫌气微生物缓慢分解的过程,故有机质消耗量低,氮、磷、钾等养分损失少(其氮回收率可达95%,钾在90%以上),养分含量高,但随原材料种类、配料比例和加水量的不同而有差异。一般沼气肥的主要养分含量见表1。据日本和上海市农业科学院报道,沼气渣肥和沼气水肥中还含有丰富的维生素B<sub>12</sub>,每克渣肥维生素B<sub>12</sub>含量约为6.3~30微克,水肥每毫升含量为150~200毫微克,并含有赤霉素、吡啶乙酸等激素。

表1 沼气肥几种主要养分含量(%)

种 类	沼气渣肥(固体部分)	沼气水肥(液体部分)
有机质	30~50	—
腐殖酸	10~22	—
全氮(N)	0.8~1.5	0.03~0.08
速效氮	0.2~0.43	0.03~0.07
全磷(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.4~0.6	0.02~0.06
全钾(K <sub>2</sub> O)	0.6~1.2	0.05~0.1

**发酵技术** 沼气发酵是各种有机物料在隔绝空气的沼气池中,在一定的温度、湿度条件下,经嫌气微生物发酵分解而产生沼气的过程。其发酵分解过程是十分复杂的。通常分为两个阶段 第一阶段称为不产甲烷阶段。包括液化和产酸两个过程,即由不产甲烷的微生物群将发酵原料中的纤维素、蛋白质和脂肪等转化为各种有机酸、醇、二氧化碳及氢气等产物。在这个阶段中,主要的产物是乙酸,乙酸是甲烷形成的重要中间产物。第二阶段称为产甲烷(CH<sub>4</sub>)阶段。是由专性嫌气细菌群(甲烷菌)把产酸过程中形成的小分子化合物通过

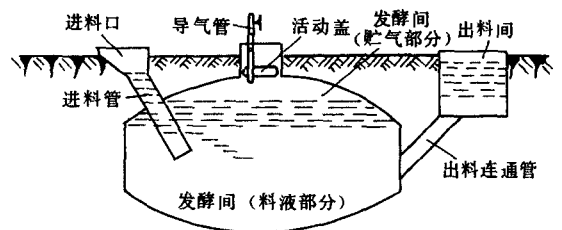
还原作用,最终形成甲烷和二氧化碳。反应过程如下



沼气是一种无色无味的可燃性混合气体,其主要成分是甲烷,约占气体总量的50%~70%,其次是CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CO和H<sub>2</sub>S等气体。一般沼气发酵分解过程中,产气多,出肥率高,产气少,出肥率低且肥质差。

**发酵条件** ①合理建池。沼气池是进行沼气发酵的场所,应严格密闭,不漏水、不漏气,保证沼气微生物繁殖活动的嫌气条件。中国农村常把沼气池与猪圈、厕所连通,形成三通沼气池,既保证发酵材料的来源,促使产气稳定,又可改善环境卫生,②接种沼气细菌。特别是初次投料,需进行人工接种沼气细菌,如产气好的老沼气的粪渣、老粪池的池渣、常年阴沟污泥等均可用作沼气菌种,③适宜的配料。配料既要满足微生物活动所需要的养分和能源,又要满足产气对碳水化合物的需要量。沼气的产量与原材料的C/N比有关,一般按碳·氮=20~30:1将各种原材料进行搭配,并结合进料的干物质含量进行计算,一般一个10立方米的沼气池中,秸秆、青草、人畜粪尿各占15%即可;④温度。甲烷细菌的繁殖活动温度以30~37℃时,发酵速度最快,低于5℃时,发酵几乎停止,⑤水分。沼气池中的最适水、料比与季节有关,夏、秋、冬季的适宜比例分别为90:10,92:8和85:15左右,⑥酸碱度。甲烷细菌繁殖的最佳pH值为6.7~7.6,低于6.5或高于8.5几乎停止繁殖。由于发酵过程中往往会累积大量的有机酸,因此配料时须加原材料干重0.1%~0.2%的石灰或草木灰调节pH值。

**沼气池的结构** 制取沼气的厌气发酵密闭装置在中国称为沼气池,印度称为戈巴装置,有的国家称为发酵罐、厌氧消化器,还有的叫沼气发生器等。沼气池一般由进料管、发酵间、出料间、活动盖、导气管等部分组成。见下图。



沼气池示意图

**加料方法** 为促进沼气发酵,先把原材料如秸秆、植物茎秆等切成 30~40 厘米长,然后按比例配好,并预先在池外堆积几天后再入池。入池时的第一次投料约占池体容积的 90%,沼气使用过程中应经常添加新材料保持产气稳定。常见几种发酵材料的产气量和持续时间(可供取肥时间的参考)见表 2。

表 2 几种发酵材料的产沼气量和产气持续时间

原 料	产沼气量 (100kg) (m <sup>3</sup> )	沼气中甲烷含量 (%)	产沼气持续时间 (d)
猪 粪	30	65	60
牛 粪	28	39	90
马 粪	31	60	90
人 粪	21	50	30
玉米秆	25	53	90
谷 壳	23	62	90
青 草	29	70	60
杂树叶	16~22	59	65

**施用技术** 沼气渣肥和沼气水肥应分开施用。沼气渣肥的质量比一般堆、沤肥好,但仍属迟效性有机肥料,宜作基肥。在水田施用可直接撒施,在旱地施用,施后应覆土 10~12 厘米,以防氮损失。由于刚出池的沼气渣肥含有还原性有害物质,不宜立即施用,应再加草皮土、磷矿粉等,混合均匀,在地表堆腐数日后再作基肥施用。其配料比例为 渣肥 100 份,草皮土等 100 份,磷矿粉 10 份。也可将沼气渣肥加入适量的尿素和干细土压成颗粒状肥料作基肥施用。沼气水肥宜作追肥,可直接洒喷,即直接施入土内,立即结合翻耕,也可将澄清无沉渣的肥水喷施作追肥,还可采取浇根和随灌溉水施用。沼气肥水每公顷用 24 000~37 500 千克,一般玉米、棉花的增产幅度为 9%~26.4%,沼气渣肥每公顷用量 15 000~22 500 千克,当季水稻、玉米等的增产约 10% 左右。沼气肥与化肥配合施用,肥效更为显著。

沼气渣肥亦可制作腐殖酸类肥料施用。此外,沼气渣肥也可用作饲料,喂养家畜和鱼类。

**注意事项** 由于沼气发酵是在密闭的嫌气条件下进行的,池中空气充满以甲烷为主的易燃气体和少量的二氧化碳和剧毒的磷化三氢(H<sub>3</sub>P)气体,因此在沼气发酵中的换料取肥及在沼气、沼气的使用上均应严格注意安全操作,搞好防毒、防渗漏及防沼气池破裂等工作。换料取肥前,沼气池要通入新鲜空气。最好要做小动物安全试验,把鸡或兔子用篮子吊入池内半小时,动物反应正常后,人才可进入池中取沼气渣肥,否则有窒息的危险。

**参考书目**

徐曾符主编《沼气工艺学》,农业出版社,北京,1981。

(杨玉爱)

**诊断推荐施肥系统** (diagnosis and recommendation integrated system) 以高产群体元素间比值为参比,用距参比的变异程度衡量作物营养平衡状态的诊断方法。该法是 70 年代 E R 皮弗尔(Beaufils)等经二十余年研究创立的一种新的诊断方法,简称 DRIS。

**理论依据** DRIS 认为作物正常代谢所需的各种养分必须是平衡的,单一元素含量适宜并不意味着高产。如图 1 所示 玉米含氮在 3.2% 左右可得最高产量,但也可以是 4~14 吨/公顷范围内的各种水平的产量,磷钾的情况亦一样。就是说 要获得高产需要各种养分的平衡协调。即一种元素与其他各种元素间存在一最适比值(平衡值)。作物测得实际比值越接近最适比值,说明养分越平衡,反之则越不平衡。它的最适值来自当地高产群体叶分析元素比值的平均值。

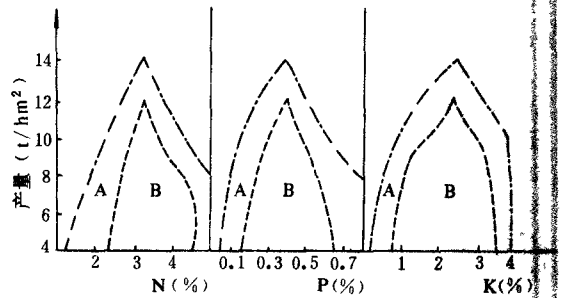


图 1 玉米叶片中 N、P、K 含量与产量关系分布图(Summer) A 为点疏散区, B 为点密集区

**诊断程序** DRIS 的工作程序是 ①收集有产量及叶片养分分析的多套资料,其中高产资料套数不少于总数的 10%。资料容量尽可能多,要取自随机。②确定高、低产的产量分界水平,并把产量数据分成高产群和低产群。③计算各种养分表现形式(见表 1)的平均值、标准差、变异系数及方差。④以低产群体方差为大变量,高产群体方差为小变量,进行显著性测定,以确定重要元素比值。未达到极显著水平的可认为是不重要的,不作考察。

**诊断方法** 在完成上述数据处理后,可根据需要采用下述两种方法中的一种进行诊断。

**图示法** 以高产群差异显著的养分表现形式均值为圆心,±4/3S(标准差)和±8/3S 为半径作两个同心圆,以 N/P、N/K、K/P 的坐标轴平分圆(图 2),构成坐标系。在坐标系中,处于±4/3S 的圆内(内圈)区域是植株养分平衡的区域,以平衡箭头“→”表示;外圈区域是稍不平衡区域。它以坐标轴分成两个副区,一个是元素较富区,一个是元素较缺区。分别以与水平成 45°角的箭头“↗”和“↘”表示,圈外区域是显著不平衡区域,同样分为两个副区。一个极丰富,一个极缺。分别以垂直箭头“↑”和“↓”表示。以表 1 玉米 N/P 为例(玉米

表 1 玉米叶片分析结果及其统计参数

表达形式	低产群体 (A)				高产群体 (B)				方差比 $S_A^2/S_B^2$
	平均值	标准差 (S)	变异系数 (CV)	方差 (S <sup>2</sup> )	平均值	标准差 (S)	变异系数 (CV)	方差 (S <sup>2</sup> )	
N(%)	2.86	0.57	20	0.326	3.16	0.551	18	0.303	1.075
P(%)	0.30	0.06	20	0.004	0.32	0.071	22	0.005	0.720
K(%)	2.32	0.626	27	0.392	2.12	0.488	23	0.238	1.647**
N/P	9.88	1.777	18	3.158	10.04	1.413	14	1.996	1.582**
N/K	1.39	0.387	28	0.150	1.49	0.318	21	0.101	1.485**
K/P	6.94	2.000	29	4.000	6.74	1.491	22	2.222	1.800**
P/K	0.13	0.032	26	0.001	0.15	0.036	24	0.001	0.846
P/N	0.10	0.018	18	0.0003	0.10	0.016	16	0.0003	1.231
K/N	0.81	0.195	24	0.038	0.72	0.161	22	0.026	1.467**
NP	0.85	0.281	33	0.079	0.98	0.310	32	0.096	0.821
NK	0.59	2.245	34	5.040	0.45	2.216	34	4.910	1.026
PK	0.71	0.260	37	0.067	0.68	0.247	36	0.061	1.105

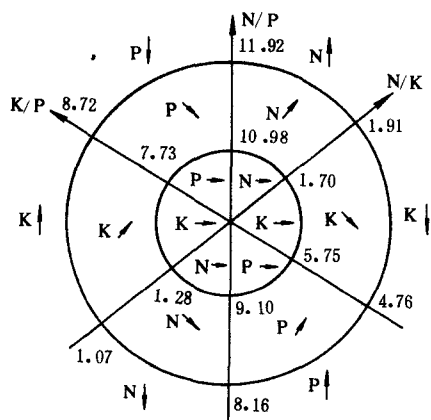
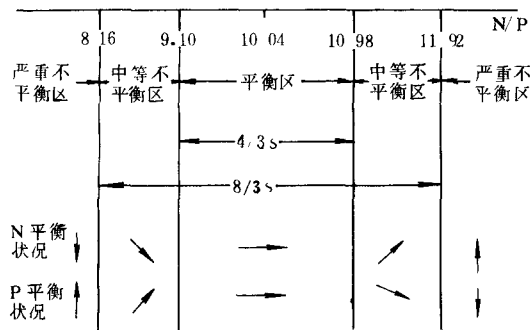


图 2 玉米氮、磷、钾诊断图

N/P 高产群均值), 图示如下



以同样方法划分 N/K 和 K/P, 即可组成诊断图。现有一玉米待测田块的叶分析结果为 N=3.02%, P=0.23%, K=1.25%, 把测得数据以相应重要元素的比值形式表达, N/P=13.13, N/K=2.42, K/P=5.43 与图比较结果, N/P 落在 N↑P↓ 区域。为了诊断目的, 通常只记录相对不足之数值, 故 N—P 平衡状态为 NP↓, 同样可得 N—K 平衡状态为 NK↓, P—K 平

衡状态为 PK↘。由此得到 N—P—K 平衡状态为 N→P↓K↘, 显然该玉米的需肥顺序为 K>P>N。

指数法 图示法用图直接进行比较判断, 比较直观。但当比较的元素比值数较多时, 图示法不适用, 需应用指数法。指数法是通过具体数字(即指数)来反应平衡状况的。指数等于 0 时说明该元素是平衡的, 大于 0 则说明该元素相对充足, 小于 0 说明相对不足, 负值越大则该元素是作物愈需要的元素。

指数法同样以实测值偏离最适值的偏离程度来表示。若 X/Y 表示 X、Y 两元素的实测值, x/y 表示 X、Y 两元素的最适值, 则 X/Y 偏离 x/y 的程度函数 f(X/Y)

当 X/Y > x/y 时,

$$f(X/Y) = \left( \frac{X/Y}{x/y} - 1 \right) \frac{1000}{CV}$$

当 X/Y < x/y 时,

$$f(X/Y) = \left( 1 - \frac{X/Y}{x/y} \right) \frac{1000}{CV}$$

CV 为高产群体元素比值的变异系数。这是考虑最适值受正常变异影响而对偏离程度函数 f(X/Y) 的平均调整。

由上式得到的结果就能反应 X/Y 的平衡状况。当 f(X/Y) > 0 时, 说明 X 相对过量而 Y 相对不足, 当 f(X/Y) < 0 时, 说明 X 相对不足而 Y 相对过量。当考察更多元素(Z……) 时, X 的平衡状况则需要以 X 分别与 Y、Z…… 比值偏离相对最适值的偏离程度的平均值来表示即

$$X \text{ 指数} = \frac{f(X/Y) + f(X/Z) + \dots}{n}$$

n 为 X 元素需要考虑与之平衡的另外元素之个数, 现以图示法的数据进行计算。

$$\because N/P > n/p$$

$$\therefore f(N/P) = \left( \frac{13.13}{10.04} - 1 \right) \frac{1000}{14} = 21.9$$

∵  $N/K > n/k$

$$\therefore f(N/K) = \left(\frac{2}{1} \frac{42}{49} - 1\right) \frac{1000}{21} = 29.7$$

∵  $K/P < k/p$

$$\therefore f(K/P) = \left(1 - \frac{6}{5} \frac{74}{43}\right) \frac{1000}{22} = -10.9$$

$$N \text{ 指数} = \frac{f(N/P) + f(N/K)}{2}$$

$$= \frac{21.9 + 29.7}{2} = 26$$

$$P \text{ 指数} = \frac{[-f(N/P)] + [-f(K/P)]}{2}$$

$$= \frac{-29.7 - 10.9}{2} = -6$$

$$K \text{ 指数} = \frac{[-f(N/K)] + f(K/P)}{2}$$

$$= \frac{-29.7 - 10.9}{2} = -20$$

指数值一般均为整数,按上述原则,玉米需肥顺序为  $K > P > N$ ,与图示法结果一致。

DRIS 的优点是以养分平衡状态为根据,所以比之临界值法具有很多优点 ①确诊率较高。M E 萨姆纳(Summer)比较 DRIS 和临界值法确诊率结果见表 2。②诊断结果受植株年龄品种及取样部位影响小。如表 3 和表 4 所示,玉米不同叶位、甘蔗不同年龄对诊断结果几无影响。

表 2 DRIS 和临界值法确诊率的比较

作物	DRIS			临界值法		
	诊断次数	确诊次数	%	诊断次数	确诊次数	%
马铃薯	51	39	76.4	33	22	66.7
甘蔗	52	38	73.1	29	20	69.0
玉米	190	166	87.4	167	133	79.6

表 3 玉米叶位对 DRIS 诊断结果的影响

叶位	DRIS					需肥顺序
	N	P	K	Ca	Mg	
1	-35	1	-11	15	29	$N > K > P > Ca > Mg$
3	-15	-2	-15	3	24	$N = K > P > Ca > Mg$
6	-23	2	-10	6	25	$N > K > P > Ca > Mg$
9	-17	-11	1	7	21	$N > K > P > Ca > Mg$

表 4 甘蔗生长年龄对不同诊断方法诊断结果的影响

生长年龄(月)	叶片成分(%)			诊断结果	
	N	P	K	DRIS	临界值法
2	2.22	0.23	1.52	$P > K = N$	无结果
4	1.86	0.20	1.50	$P > N > K$	无结果
6	1.68	0.18	1.42	$P > N > K$	缺 N
8	1.68	0.17	1.44	$P > N > K$	缺 N、P
10	1.56	0.16	1.40	$P > N > K$	缺 N、P

DRIS 存在的缺点是步骤繁琐,计算量极大,且其结果也不能提出矫正缺乏所需的肥料用量等。这些尚有待于发展和完善。

(尹名济)

**诊断指标 (diagnosis index)** 衡量作物体内养分丰缺程度的参比标准。作物正常生长所必需的各种养分数量和比例有一定的范围,低于或高于这一范围,生育受阻,产量下降。

指标的表示

临界值 亦称临界浓度。是产量达到最高水平时的养分含量值。意为植物所含养分浓度低于这一数值时产量即趋于下降。是诊断中应用最多的指标。多用于监视作物养分元素丰缺状况,以其绝对含量(%或毫克/千克等)表示。

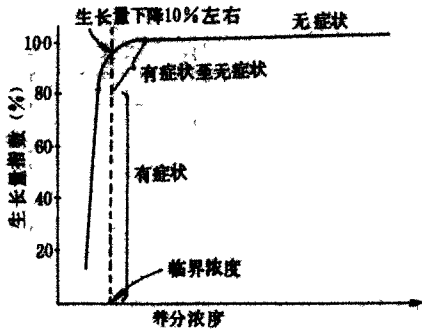
养分比值 由于养分元素间存在相互影响,需要保持相对平衡,比例失衡将导致生育失常。所以对一些彼此影响比较大的两种养分常用比值为指标,这种比值往往比单一养分临界值能更好地指示作物的营养状况。

指数 以植株氮、磷、钾等养分测定值按一定公式计算,变换为指数值。根据指数值大小及正负来判断作物需肥的次序及程度。

指标的确定

溶液培养的方法 把待测养分以外的其他养分都维持在足够的水平上,而把待测养分由低(或 0)到高逐级递增,配成不同浓度的养分系列,培养供试植物。在植物生长到出现明显缺乏症状时采取样本(一般为叶片)进行养分含量分析,以所得养分浓度与植物生长量(或产量)进行相关显著性检验,绘制相关曲线(见图),横坐标示养分浓度,纵坐标示作物产量(最高产量的指数)。曲线中三个区段的意义是:下部为“缺乏区”,是出现症状的区域,中间转折部为“转变区”是症状出现或不出现的过渡区域,转折后的水平部分为“足够区”,此区不出现症状。通常以转变区的中点作为临界值,这一点大致落在最高产量的 90%~100% 范围内。良好的曲线“转变区”狭窄,即从缺乏到足够的转变敏锐。水培方法的好处是养分浓度可以严格地控制,并可排除浓度因素之外其他因素的干扰,养分浓度与产量之间相关程度提高,所得临界值精确度高。临界值主要作用在于监视对养分的需要与否及其程度。由于植物对养料的反应与养料的来源无关,不管植物是培养于溶液或生长于土壤中,其结果都应一样,有普遍应用意义。延续系列培养液浓度使增高到一定极限,作物出现负增长,可以确定元素过剩或中毒浓度。

田间调查试验的方法 在较大范围内发生缺乏症时,采集包括从正常到有严重症状的缺乏程度不同的多个样本。分析养分浓度,用前述同样方法从养分浓



植物组织中养分的浓度(干重)养分浓度临界值的确定度与症状关系中确定临界浓度。必要时结合进行盆栽试验或多点田间试验作校验。从田间条件下取得的指标,由于不可能完全排除非处理因素的干扰,其精度一般不如培养试验结果。在“缺乏”与“足够”之间往往存在较宽的过渡区,缺乏与正常含量之间会有重叠出现。在这里,临界并不是某一个“点”,而是一个范围,因此用“范围”如“临界范围”可能更切合实际。

**指标分级** 为对作物养分的丰缺程度作出详细的评价,需要把养分含量进行分级,定出等级指标。常用的分级指标是 缺乏、正常、过剩这一分级标准。其与作物产量关系大致是 达到最高产量的 90%~100%为正常(充足),相对产量<90%为缺乏,其中 相对产量为 80%~90%,不出现明显症状为潜在缺乏,<80%出现明显症状为缺乏,<50%~60%为严重缺乏。过剩(过量)指含量超过正常足量而产量低于正常足量。

**指标的运用** 诊断指标都是在一定的具体条件下取得,运用时必须考虑它的适用条件。①诊断的技术条件 如采样技术和分析技术等与指标拟订时采用的要一致。②环境条件 对于土壤诊断指标来说,不同土壤类型和气候条件对指标有一定影响,土壤组成不同,养料释放快慢不同,同一水平的有效养分,粘土可以发生缺乏而砂土则可能不发生;气温显著影响根系吸收,为满足作物正常生长的需要,低温季节比温暖季节对土壤养分水平的要求要高。③作物品种 品种不同对营养元素要求不同。

(尹名齐 秦逸初)

**蒸腾作用 (transpiration)** 植物体内的水分以气体状态向大气散失的过程。植物通过蒸腾作用要散失大量的水分,当植物水分的散失量超过吸收量时,植物就失去水分平衡,严重时引起水分胁迫,但蒸腾作用产生蒸腾拉力,它是植物被动吸水、促进水分向上运输的动力,也可促进根所吸收的养分及其同化物向上部运输。环境因子对蒸腾速率有很大的影响。

**类型** 按植物发生蒸腾作用的部位可分为气孔蒸腾(stomatal transpiration)、角质层蒸腾(cuticular

transpiration)和皮孔蒸腾(lenticular transpiration)3类。气孔蒸腾指通过气孔所进行的蒸腾。气孔由两个保卫细胞构成。保卫细胞吸水导致其膨压升高,使气孔张开,而保卫细胞失水其膨压降低时,气孔则关闭。气孔蒸腾先是气孔下腔(substomatic cavity)周围叶肉细胞的水分蒸发,然后是气孔下腔内的水蒸气分子通过气孔向大气扩散。气孔在充分张开时,气孔口所占面积也只有叶面积的 1%~2%,虽然气孔是很小的孔,但由于叶片的气孔数很多,且在叶表皮层有适当分布,所以水蒸气分子很容易通过气孔扩散到大气中。植物的蒸腾作用主要是通过气孔蒸腾进行的。角质层蒸腾是通过角质层进行的蒸腾。由于角质层富含蜡质,所以对水分的阻力很大,一般其蒸腾量只占总蒸腾量的 3%~5%。皮孔蒸腾是通过茎、枝周皮的皮孔所进行的蒸腾,其蒸腾量极微,一般仅占总蒸腾量的 0.1%左右。

**生理意义** 蒸腾作用产生蒸腾拉力,它是植物被动吸水并将水分向上运输的动力。高大树木,其根所吸收的水分运到树冠主要依靠这一动力。蒸腾作用还可促进根对养分的吸收和向地上部运输。不过蒸腾流中各种养分的比例与植物体对养分的需要不完全一致。在盐渍土中生长的植物通过蒸腾流常带入盐分。在高温条件下,植物通过蒸腾可降低叶温,避免高温危害,但如根系不发达、供水不足或营养不良(例如钾营养不足),则因蒸腾大量失水会引起水分亏缺、正常代谢失调而受害。栽培作物时应采取适当措施,促进根系生长,增强根系活力,使其能供应地上部足够的水分和养分。

**影响蒸腾速率的环境因子** 蒸腾速率通常用单位叶面积在单位时间内通过蒸腾散失的水分量表示,可用摩尔/(平方米·秒)(mol/m<sup>2</sup>s)或毫克/(平方米·小时)(mg/dm<sup>2</sup>h)表示。前者为每平方米叶面积在每秒钟内蒸腾散失水分的摩尔数,后者为每平方米叶面积在每小时内蒸腾散失水分的毫克数。环境因子主要是通过气孔导度(stomatal conductance)和气孔下腔与大气间水气浓度梯度影响蒸腾。当气孔开度大时,气孔导度大,提高蒸腾速率,气孔下腔与大气间水气浓度梯度大时,促进气孔下腔内水气通过气孔向大气扩散,促进蒸腾。

保卫细胞对 CO<sub>2</sub> 和脱落酸(ABA)敏感。水分亏缺时,细胞内 ABA 含量增高,气孔关闭,黑暗条件下植物光合作用停止,叶中 CO<sub>2</sub> 浓度增高,气孔也关闭,这两种情况下都抑制蒸腾作用进行。景天科酸代谢(CAM)型植物(如仙人掌)演化出避免蒸腾的特殊方式,其气孔昼闭夜开,夜间吸收 CO<sub>2</sub> 并固定在有机酸中,白天有机酸脱羧释放出 CO<sub>2</sub> 进行光合作用。

在供水充分的条件下,气孔导度随光强增高而增加,同时光强增加,温度也相应增高,促进叶肉细胞的水分蒸发,增大了气孔下腔与大气间水气浓度梯度,故

促进蒸腾。

空气相对湿度增高使气孔下腔与大气间水气浓度梯度减小,抑制蒸腾。微风增加气孔下腔和大气间水气浓度梯度,促进蒸腾。  
(饶主华)

**正交设计 (orthogonal design)** 用正交表安排的部分实施多因素试验。任何两列数据只要具备以下两个条件,即称为正交。式(1)称为正交条件

$$\begin{cases} \sum X_i = 0 \\ \sum X_i X_j = 0 \end{cases} \quad (1)$$

( $i, j = 1, 2, \dots, r, i \neq j$ )

正交表用有限域理论构造而成,表中任何两列数据都符合正交条件。应用最多的是  $L_{t^u}(t^q)$  类型正交表。 $L$  表示正交表, $t$  为因素的水平数, $t$  限制为素数或素数幂。 $u$  为基本列数,可以是任何正整数。水平数和基本列数决定后, $t^u$  就是处理组合数。 $q$  为正交表中的列数, $q = \frac{t^u - 1}{t - 1}$ 。常用的正交表为  $L_8(2^7)$  表。表中 1, 2 为两个试

表 1  $L_8(2^7)$

列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

验水平代号。第 1 列定列名为 a, 将 8 个处理二等份, 分别记作 1 水平和 2 水平, 称为二分列。第 2 列记列名为 b, 是第 1 列的二分列。第 4 列记列名为 c, 是第 2 列的二分列。每个二分列即为一个基本列。每个基本列后跟有前方各列的交互作用列。每个基本列到下个基本列之间的列称为群。正交表上的水平代号经一定形式数据变换后即符合式(1)。正交表具有两个特点 ① 搭配均衡 表 1 中每列都有相等数目的 1, 2 水平, 任两列共有四种水平组合 (1, 1)、(1, 2)、(2, 1)、(2, 2)。这种组合称为有序对。在 8 个处理组合中每种组合各出现两次, 这就是搭配均衡。② 整齐可比 表 1 中的 3 个基本列上依次安排氮磷钾 3 种肥料因素, 1 水平代表不施肥。第 1 列上处理 1~4 均为不施氮, 这 4 个处理在第 2~7 列上都是 1, 2 水平各两次。第 1 列上处理 5~8 为施氮肥, 在第 2~7 列上也是 1, 2 水平各两次。第 1 列上 1 水平之和与 2 水平之和的差数就是施氮肥的效应。这时第 2~7 列上 1, 2 水平都是均衡的, 这就是正交表的整齐可比性质。基本列外的其他列都是交互作用列, 已制成相应正交表的交互作用表—— $L_8(2^7)$  的交互作用

表如下

表 2  $L_8(2^7)$  两列间的交互列

1	2	3	4	5	6	7	列号
(1)	3	2	5	4	7	6	1
	(2)	1	6	7	4	5	2
		(3)	7	6	5	4	3
			(4)	1	2	3	4
				(5)	3	2	5
					(6)	1	6
						(7)	7

从表 2 可以查出任二列的交互作用效应的位置。交互作用表是设计正交试验的重要工具。不少正交表已从交互作用表查出主效应不与交互作用混杂的设计表 (简称表头设计表见表 3)。当正交表为不完全实施方案时, 必有一部分效应重叠出现于同一列中。这一列两水平的差数是混杂的, 用正交设计试验对各因素所起作用做结论时需十分谨慎, 以免作出错误的结论。但正交设计不同因素水平间搭配均衡, 只要水平设置较为合理, 将不会遗漏试验数据较好的处理组合, 试验结果将会是很好的。从中选出最佳的处理组合, 以此为基础进一步设计可分析出交互作用效应的第二轮试验, 可以加快研究进度。这是正交设计的突出优点, 也是快速找出肥料配方的好方法。

表 3  $L_8(2^7)$  表头设计

列号 因素数	1	2	3	4	5	6	7	实施
3	A	B	AB	C	AC	BC		1
			AB		AC	BC		
4	A	B		C			D	1/2
			CD		BD	AD		

二水平多因素正交试验 因素数目根据专业研究需要确定以后, 找出适当正交表的表头设计表, 将各因素及水平代入正交表中即得正交试验的各处理组合。线性数学模型根据表头设计中未混杂的各因素主效应及交互效应列入, 被混杂的各列都并入随机误差中

$$y_\alpha = \mu + A_i + B_j + \dots + (AB)_{ij} + \dots + \epsilon_\alpha \quad (2)$$

( $\alpha = 1, 2, \dots, t^u, i, j, \dots = 1, 2, \dots$ )

式(2)中  $\alpha$  为处理组合数,  $i, j$  为每个因素的水平数。 $A_i, B_j, \dots, (AB)_{ij}, \dots$  为各个因素及交互作用,  $\epsilon_\alpha$  为各处理组合的随机误差。

根据式(2)进行平方和及自由度分解后做方差分析。若正交设计已设置重复, 则线性数学模型中还需加入组区效应项。常用的二水平正交表有  $L_4(2^3)$ 、 $L_8(2^7)$ 、 $L_{16}(2^{15})$ 、 $L_{32}(2^{31})$ 、 $L_{64}(2^{63})$  等。

三水平正交试验 常用的三水平正交表有  $L_9(3^4)$ 、 $L_{27}(3^{13})$  两种, 偶而也用  $L_{81}(3^{40})$ 。它们的基本

参数  $t$  为 3,  $\mu$  为 2, 3 及 4, 列数  $q = \frac{t^\mu - 1}{t - 1}$  分别为 4, 13 及 40.  $L_{27}(3^{13})$  正交表如下

表 4  $L_{27}(3^{13})$

试验号	列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2		1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
3		1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
4		1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	
5		1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	
6		1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	
7		1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	
8		1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	
9		1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	
10		2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
11		2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
12		2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
13		2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	
14		2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	
15		2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	
16		2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	
17		2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	
18		2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	
19		3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	
20		3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	
21		3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	
22		3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	
23		3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	
24		3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	
25		3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	
26		3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	
27		3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	
群		1	2	3											

$L_{27}(3^{13})$  正交表的交互作用表如下

表 5  $L_{27}(3^{13})$  二列间的交互作用

列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	(1)	3	2	2	6	5	5	9	8	8	12	11	11
		4	4	3	7	7	6	10	10	9	13	13	12
2	(2)	1	1	8	9	10	5	6	7	5	6	7	
		4	3	11	12	13	11	12	13	8	9	10	
3	(3)	1	9	10	8	7	5	6	6	7	5		
		2	13	11	12	12	13	11	10	8	9		
4	(4)	10	8	9	6	7	5	7	5	6			
		12	13	11	13	11	12	9	10	8			
5	(5)	1	1	2	3	4	2	4	3				
		7	6	11	13	12	8	10	9				
6	(6)	1	4	2	3	3	2	4					
		5	13	12	11	10	9	8					

(续)

列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7							(7)	3	4	2	4	3	2
								12	11	13	9	8	10
8							(8)	1	1	2	3	4	
								10	9	5	7	6	
9							(9)	1	4	2	3		
								8	7	6	5		
10							(10)	3	4	2			
								6	5	7			
11							(11)	1	1				
								13	12				
12							(12)	1					
												11	

$L_{27}(3^{13})$  为主效应不与交互作用效应混杂表只有两种表头设计(表 6)。

表 6  $L_{27}(3^{13})$  的表头设计

因素数	列号	1	2	3	4	5	6	7
3		A	B	AB	A <sup>2</sup> B	C	AC	A <sup>2</sup> C
4		A	B	AB	A <sup>2</sup> B	C	AC	A <sup>2</sup> C
				C <sup>2</sup> D			B <sup>2</sup> D	
因素数	列号	8	9	10	11	12	13	实施
3		BC			B <sup>2</sup> C			1
4		BC	D	AD	B <sup>2</sup> C	BD	CD	1/3
		A <sup>2</sup> D						

如有 5~7 个因素,通常的做法是在因素为 3 的表头设计中的 9、10、12、13 四个空列中填入其他因素,得到部分实施程度分别为 1/9、1/27、1/81 实施的试验方案。线性数学模型与式(2)相间,但  $i, j, = 1, 2, 3$ 。

正交拉丁方试验 当  $\mu = 2$  时  $L_t^2 = (t^{t+1})$  系列的正交表称为正交拉丁方系。常用的有  $L_9(3^4)$ 、 $L_{16}(4^5)$ 、 $L_{25}(5^6)$ , 这些正交拉丁方系也称为  $3 \times 3$ 、 $4 \times 4$ 、 $5 \times 5$  正交拉丁方。不存在  $6 \times 6$  的正交拉丁方。 $7 \times 7$ 、 $8 \times 8$ 、 $9 \times 9$ 、 $10 \times 10$ 、 $12 \times 12$  的正交拉丁方也可从书籍中查到。当试验因素只有两个时是完全实施方案。因素数多于两个时正交拉丁方试验都是高度混杂的。多数试验者是着眼于从多个水平的均衡搭配中找出较好的处理组合,直接用于生产或作为进一步试验的基础,因此并不都进行统计分析,即使进行统计分析,各项效应中也混杂有其他效应,做结论时应谨慎。

拟水平法 正交表有严密的固定形式,但试验者所需的各因素的水平数不一定与正交表中完全一致。拟水平法是将较少的试验水平安排到水平数较多的正交表上的试验设计技术。具体办法是虚拟一个原已确定的水平,使这个虚拟水平的重复数增加一倍。线性数学模型与式(2)相似,但拟水平因素的自由度应减 1。

**并列法** 试验所需水平数常多于常用正交表上的水平数。并列法可将正交表上两个或三个列合并为一个水平数成倍增加的新列,从而构造出水平数更多的或水平数不等的混合型正交表的技术。线性数学模型与式(2)相同。

**拟因子法** 将二水平正交表通过并列改造为三水平正交表的方法。与三水平正交表相比,拟因子法制成的新表可使更多的交互作用效应不被混杂,但这种新表丧失了正交性,不同水平互比时,需将上半表与下半表的各水平平均值进行校正。拟因子法优点较多,但技术要求较高。线性数学模型与式(2)相同。

**裂区正交试验** 用正交表安排的正交裂区试验中常与拟因子法合并应用,例如需研究 A、B、C、D 四种肥料的主效应与全部两因素交互作用效应,每个因素各又有三个水平,并要求 C、D 两种肥料因素有较高的精度要求。这种试验采用完全实施方案的裂区试验有 81 个处理组合 ( $3^4=81$ ),如用拟因子法将正交表  $L_{32}(2^{31})$  改造为三水平表,用 32 个处理组合即可达到目的。安排试验时需遵循以下规则 ①低级因素尽量安排在低级群中,②同级因素尽量安排在同级群中,不同级因素安排在不同群中,③不同群的两列间交互作用必在其较高群中,④同一群中的两列间交互作用必在其前面群中,⑤第 1 列不可排因素,令其赋闲。其线性数学模型为

$$y_{ijklm} = \mu + A_j + B_k + (AB)_{jk} + (CD)_{lm} + (\epsilon_1)_{jk} + C_l + D_m + (AC)_{jl} + (BC)_{kl} + (AD)_{jm} + (\epsilon_2)_{jklm} \quad (3)$$

用一次误差  $\epsilon_1$  检验一级因素及交互作用,二级误差  $\epsilon_2$  检验二级因子。进行多重比较时因采用了拟因子法,故水平平均值亦需作校正。

**并表法** 将一张规模较大的正交表分解为两张或两张以上较小的正交表,然后根据不同研究目的采取适当的应用方式的试验方法。应用方式有多种,例如将  $L_{81}(3^{40})$  正交表的 81 个处理组合改造为 9 张  $L_9(3^4)$  正交表,合起来就是一张  $L_{81}(3^{40})$ ,分开来是 9 张不同处理的  $L_9(3^4)$  正交表。在 9 个地点进行试验,再集中到一起按  $L_{81}(3^{40})$  正交表整理试验结果,优点是可使每个地点的试验规模不大,便于管理,同时也可探索全部 81 个处理组合的总的规律。不足是这种方式在因素间是高度混杂的。另一种是有些因素的水平数较多,这些水平因性质有一定差异而需分组比较,另一些因素的水平全部一样。如分两个试验则将损失一部分信息,这时可将一张大正交表分解为两张较小的正交表,在同一地点分两个小试验同时试验,再集中至一起统计分析。由于总自由度的增加,改善了统计性质,提高了分析精度。这类试验的线性数学模型随应用方式而有较大区别,应根据具体试验内容进行统计分析。

(陶勤南)

**芝麻施肥 (fertilization of sesame)** 根据芝麻在生长发育过程中对养分的需求,结合土壤供肥性能和肥料效应而采取的施肥技术。

**需肥特性** 芝麻是中国的主要油料作物之一,与其它油料作物一样,同属喜钾作物。每生产 100 千克芝麻籽粒需 6.24 千克氮(N),2.68 千克磷( $P_2O_5$ ),6.68 千克钾( $K_2O$ ),N  $P_2O_5$   $K_2O$  约为 1.04:1。芝麻各生育期对氮、磷、钾的吸收如下表所示。

芝麻不同生育时期对氮、磷、钾的吸收

生育期	占全生育期总量的比例(%)			
	干物质	N	$P_2O_5$	$K_2O$
出苗至现蕾	6.5	12.3	6.5	11.2
现蕾至初花	13.6	17.5	13.6	17.0
初花至盛花	49.2	43.9	34.0	49.4
盛花至成熟	30.7	26.3	45.9	22.4

由表可见,各生育期的需肥特性不尽相同。

**苗期** 现蕾之前芝麻的生长中心是叶、茎和根。芝麻的根系多为细密型根系,入土较浅,横向分布范围较小。苗期主根的生长比侧根快。为了合成更多的光合产物,苗期吸收的氮和钾比磷多,大部分集中在叶片中。吸收的氮、磷、钾数量分别为全生育期的 12.3%、6.5%和 11.2%,养分的吸收速度大于干物质积累的速度。芝麻是双子叶植物,种子及子叶均比较小,贮藏的养分不多,出苗后在真叶出现之前,幼苗靠子叶进行光合作用。子叶出土不久,根系即从土壤中吸收养分。苗期是磷营养的临界期,所以,芝麻对磷种肥或氮、磷种肥的要求较为迫切。

**现蕾到初花期** 此期是芝麻稳健生长的时期,也是为地上部和地下部生长打基础的时期。现蕾之后生长开始加快,干物质积累的速度比苗期增大 1 倍,但养分的吸收速度增加的幅度则较小,三要素相比,吸磷量增加的幅度较氮、钾多,这与生长中心的转变有关。现蕾到开花期植株的生长已由前期的营养生长阶段转为营养生长与生殖生长并盛的阶段,生长中心除茎、叶、根外兼有蕾和花的生长。芝麻花是无限花序,着生在叶腋内,花芽分化成蕾之后长到最大时即可开花。芝麻的开花期可持续两个月。同一植株上,在开花期内同时可见到蕾、花和果实(蒴果),但顶端一段的蕾和花均不能发育成蒴果,即或发育成蒴果,其中的种子也不能正常发育而成为秕粒。茎秆下部有一段也不结蒴果,合理施肥能使这两段缩小,从而使芝麻增产。

**初花至盛花期** 此期是茎、叶生长最快的时期和蕾、花大量形成的时期,根系从初花期开始加速生长,到盛花期基本定型。叶的快速生长能提高光合效能,增加干物质积累,茎的快速生长能增加茎的节数,节数越多,蒴果数越多,种子产量也越高,根系的迅速扩展则