

# 近代施肥原理与技术

毛达如 编著

47.2  
34

科学出版社

# 近代施肥原理与技术

毛达如 编著

科 学 出 版 社

1987

## 内 容 简 介

合理施肥是农业增产的重要措施之一。本书根据科学原理，主要阐述进行计量施肥的原理和技术。主要内容有：从古代施肥到近代施肥，近代施肥的植物营养理论基础，近代施肥的土壤条件，近代施肥的几个原则，计量施肥方法，高产目标的施肥技术，轮作施肥计划的拟订，施肥与农作物品质等。

本书深入浅出，通俗易懂、可供中等以上文化水平的读者阅读。也可供有关专业的师生参考。

## 近代施肥原理与技术

毛达如 编著

责任编辑 王伟济

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1987年8月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1987年8月第一次印刷 印张: 4 1/4

印数: 0001—2,500 字数: 80,000

统一书号, 13031·3647

本社书号, 5247·13-12

定价: 0.85元

# 目 录

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 一、从古代施肥到近代施肥.....         | 1  |
| 1. 古代的施肥概念.....           | 1  |
| 2. 近代的施肥概念.....           | 2  |
| 二、近代施肥的植物营养理论基础.....      | 4  |
| 1. 农作物正常生长的必需营养元素.....    | 4  |
| 2. 各种必需营养元素的主要营养生理功能..... | 5  |
| 3. 植物营养的两个定律.....         | 6  |
| 4. 农作物对养分吸收的阶段性.....      | 6  |
| 5. 作物营养的临界期和最大效率期.....    | 9  |
| 6. 农作物对肥料的利用率.....        | 10 |
| 三、近代施肥的土壤条件.....          | 14 |
| 1. 我国土壤的潜在养分.....         | 14 |
| 2. 土壤的有效养分.....           | 18 |
| 3. 影响土壤中养分转化的因素.....      | 20 |
| 四、近代施肥的几个原则.....          | 24 |
| 1. 归还与补偿.....             | 24 |
| 2. 最小与最大.....             | 26 |
| 3. 递增与递减.....             | 29 |
| 4. 单一与综合.....             | 31 |
| 五、计量施肥的方法.....            | 33 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 1. 平衡法 .....           | 33  |
| 2. 目标产量施肥法 .....       | 34  |
| 3. 肥料效应函数法 .....       | 37  |
| 4. 测土施肥法 .....         | 64  |
| 5. 土壤吸附磷的动力学方法 .....   | 76  |
| 6. 叶片分析法 .....         | 79  |
| 7. 应用电子计算机指导施肥 .....   | 84  |
| 六、高产目标的施肥技术 .....      | 90  |
| 1. 基肥一次深施肥 .....       | 90  |
| 2. 全耕层施肥法 .....        | 91  |
| 3. 表层施肥法 .....         | 93  |
| 4. 贮备施肥法 .....         | 94  |
| 5. 免耕施肥法 .....         | 96  |
| 6. 灌溉施肥法 .....         | 97  |
| 7. 飞机施肥法 .....         | 99  |
| 七、轮作施肥计划的拟订 .....      | 102 |
| 1. 拟订轮作施肥计划的原则 .....   | 102 |
| 2. 决定轮作施肥计划的几个因素 ..... | 104 |
| 3. 拟订轮作施肥计划的方法 .....   | 112 |
| 八、施肥与农作物的品质 .....      | 116 |

# 一、从古代施肥到近代施肥

## 1. 古代的施肥概念

所谓施肥,就是人们有意识地将某种有机或无机的营养物质施入土壤中,以提高土壤肥力,供给农作物营养,达到高产、优质、低成本的目的。

我国古代的施肥概念应从“粪”字开始,粪的本义是“弃除”,即把人畜排泄物扫入田内,然后再弃去。粪从弃除的概念转变成施肥的概念,最早从战国时代开始,《孟子·万章下》中有这样的记载:“一夫一妇佃田百亩,加之以粪,是为上农夫,其所得之谷,足以食九口……”。这里明确地指出,施肥的农田可获得最高的生产率。

西汉是我国古代施肥技术发展的全盛时期,《汜胜之书》和《齐民要术》二部古代的农业文献,已系统地记载了我国传统农业的施肥技术。数千年来,我国古代的施肥概念是“粪肥土,土养苗”,即施用有机肥料培肥土壤,肥沃的土壤又给农作物的生长提供营养。在我国古代的经验施肥中一直强调“粪大水勤不用问人”的说法,显然是不科学的。因此,古代的施肥是经验性的,它只强调了供给农作物生长所需的充足肥料,

而没有认识到施肥的经济效益和数量化概念。显然,这些在今天已不再适用了。

## 2. 近代的施肥概念

近代的施肥是以高产优质低成本为目标,通过已经建立的施肥模型,以确定获得最大利润的施肥量和肥料比例。因此,近代的施肥是高产和经济效益相结合的数量化施肥方法。近代的施肥从1909年德国土壤学家米切里希(E. A. Mitscherlich)提出的米氏施肥方程开始,进而1927年尼克来(Nikla)、米勒(Miller)应用一元二次肥料效应函数,并通过农作物对肥料的反应来确定最适施肥量,1928年斯皮尔曼(Spillman)施肥方程的建立,都给近代施肥提供了理论依据。本世纪七十年代,英国植物营养学家库克(G. W. Cooke)首次提出了近代施肥的理论。库克根据农作物对肥料反应的关系,建立了四种施肥模型,即:

第一,直线型施肥模型;

第二,指数递增型施肥模型;

第三,一元二次抛物线施肥模型;

第四,二元二次反应曲面施肥模型。

以上四种施肥模型,都是以高产为目标,通过农作物的肥料田间试验,以求得最大利润的施肥量。由此可见,近代的施肥实质上就是高产的经济施肥。

近代高产农作制的特点是以讲求经济效益为目的。它要

求一切农业技术措施更加经济、易行,所以在农作物的施肥制度上,也必须拟订出一套投资少、收效高的施肥方案,在经过审定的土壤测试方法的指导下,为农田施肥提供咨询服务。这就是科学施肥中必须解决的原理与技术问题。

## 二、近代施肥的植物营养理论基础

### 1. 农作物正常生长的必需营养元素

农作物有机体的组成是极其复杂的，一般而言，其鲜体是由75—95%的水分和5—25%的干物质组成的。它的营养元素主要是碳(C)、氧(O)、氢(H)、氮(N)，它们分别占农作物干重的45%、43%、6.5%、2.0%，剩余的是占农作物有机体干重5%左右的灰分元素。灰分元素约有数十种，但农作物营养必需元素只有16种，绝大多数是不必需元素。1939年，阿农(Arnon)和斯托特(Stout)首次提出了判断植物营养必需元素的三条标准：

第一，当植物缺乏某种元素后，便不能正常地完成其生命循环；

第二，该种元素在植物生长中的作用是不可代替的；

第三，必须对植物有直接营养作用，而不是间接改善环境而产生的营养作用。

根据这三条标准，科学试验已证明农作物有机体必需的十六种营养元素如下：碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、钼(Mo)、硼(B)、铜(Cu)、氯(Cl)。此外，钴(Co)、钒(V)、钠(Na)是某些蓝藻和某些盐生植物如盐生草、襄溴黎所必需

的。在以上十六种农作物必需的营养元素中，前九种叫大量营养元素，它们的含量约占农作物有机体干重的百分之几十到千分之几，后七种叫微量营养元素，它们的含量约占农作物有机体干重的千分之几到万分之几(表1)。

## 2. 各种必需营养元素的 主要营养生理功能

各种必需营养元素在农作物有机体内具有各自的生理功

表1 农作物有机体内主要营养元素的含量及其来源

| 营养元素   | 占农作物有机体<br>干重(%) | 来 源                    |
|--------|------------------|------------------------|
| 碳 (C)  | 45.0             | 从空气和水中吸收               |
| 氧 (O)  | 43.0             |                        |
| 氢 (H)  | 6.5              |                        |
| 氮 (N)  | 2.0              |                        |
| 钾 (K)  | 1.5              | 从土壤中吸收；豆科植物<br>可从空气中固氮 |
| 钙 (Ca) | 0.6              |                        |
| 磷 (P)  | 0.5              |                        |
| 硫 (S)  | 0.5              |                        |
| 镁 (Mg) | 0.3              | 从土壤中吸收                 |
| 锰 (Mn) | 0.05             |                        |
| 铁 (Fe) | 0.02             |                        |
| 锌 (Zn) | 0.01             |                        |
| 硼 (B)  | 0.005            |                        |
| 铜 (Cu) | 0.001            |                        |
| 钼 (Mo) | 0.0001           |                        |
| 氯 (Cl) | 痕迹               |                        |
| 钴 (Co) | 痕迹               |                        |
| 总计     | 99.9861          |                        |

能。碳、氢、氧、氮、磷、硫、钙、镁等元素构成植物活体结构物质及生活物质。结构物质有：纤维素、半纤维素、木质素及果胶物质等；生活物质有：氨基酸、蛋白质、核酸、脂类，叶绿素、酶和辅酶等。铜、锰、锌、氯、钼、硼、铁、钙、钾、镁等元素是加速农作物有机体内代谢的催化元素和激化酶活性的活化剂。钾、钙、镁等元素在体内活性强，参加体内代谢作用，调节细胞透性，增加农作物抗性。由于这些营养元素的相互作用，保证了农作物的正常生长发育。

### 3. 植物营养的两个定律

各种营养元素在农作物有机体内的生理功能是同等重要的，它们之间也是不可代替的。以氮、磷为例，氮可组成细胞的蛋白质，磷是组成细胞核酸的主要元素之一。蛋白质与核酸都是农作物正常生命活动的重要物质，因此氮素和磷素在农作物生长发育中是同等重要的，这叫植物营养元素的同等重要律。但氮素和磷素二者又是不可代替的，缺磷对农作物生长发育所产生的影响，不能用氮素来弥补，这叫植物营养元素的不可代替律。同等重要律和不可代替律是施肥中必须遵循的两个基本定律。

### 4. 农作物对养分吸收的阶段性的

农作物从土壤中吸收养分的主要器官是根。农作物的根以吸收土壤中的无机物为主，但也可以吸收一些简单的有机

物,如氨基酸、糖等。农作物叶部的气孔也可以吸收喷施在叶面肥料中的营养元素。前者叫土壤施肥,后者叫根外施肥或叶面施肥。

农作物吸收氮素可以是铵态( $\text{NH}_4\text{-N}$ ),也可以是硝态( $\text{NO}_3\text{-N}$ )。农作物吸收的磷素以一代磷酸盐( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ )和二代磷酸盐( $\text{HPO}_4^{2-}$ )为主,其他如钾( $\text{K}^+$ )、钙( $\text{Ca}^{++}$ )、镁( $\text{Mg}^{++}$ )等都以阳离子状态被农作物吸收利用。

农作物的根从土壤中吸收养分是一个复杂的过程,首先是通过截获、扩散、质流三种途径,使养分到达农作物的根系表面。所谓截获是土壤溶液中养分从高浓度向低浓度迁移,使土壤或肥料中的养分到达根表;质流是由于农作物的蒸腾作用,从土壤中吸收水分,养分随蒸腾液流而到达根表。这两种途径叫被动吸收。然后到达农作物根表的养分,再通过离子的代换吸收和载体等各种不同的机制被作物吸收,这叫主动吸收。对主动吸收的解释还有不同的假说,这里不再一一介绍。

农作物不但可以吸收无机养分,还可以通过“饱饮”作用或渗透作用,直接吸收一些简单的有机养分或分子态养分。

总之,农作物可以通过根部或叶部从环境中直接吸收各种养分,在农作物生长发育的不同阶段,吸收不同的养分,这叫植物营养的阶段性。不同农作物在不同生长发育时期吸收养分的比例见表2。

从表2可知,农作物吸收养分的规律是:生长初期吸收养分的数量、强度都较低,随着时间的推移,对营养物质的吸收逐渐增加,到成熟阶段又趋于减少。不同的农作物种类

对养分吸收的高峰和数量比例都有差别,一般谷类作物养分吸收高峰大致在拔节到孕穗期,棉花则在现蕾到开花期。

施肥必须以农作物的阶段营养为基础,否则就会发生盲目施肥,浪费肥料,导致减产和降低经济效益。

表2 几种主要农作物吸收氮、磷、钾养分比例(%)

| 作物  | 生育期    | 占吸收总量的 % |                               |                  |
|-----|--------|----------|-------------------------------|------------------|
|     |        | N        | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 冬小麦 | 冬前     | 14.4     | 9.1                           | 6.9              |
|     | 返青     | 2.6      | 1.9                           | 2.8              |
|     | 拔节     | 23.8     | 18.0                          | 30.3             |
|     | 孕穗     | 17.2     | 25.7                          | 36.0             |
|     | 开花     | 14.0     | 37.9                          | 24.0             |
|     | 乳熟     | 20.0     | —                             | —                |
|     | 完熟     | 8.0      | 7.4                           | —                |
| 水稻  | 插秧     | 10.9     | 7.5                           | 5.2              |
|     | 分蘖     | 47.6     | 43.3                          | 43.9             |
|     | 拔节—孕穗  | 39.0     | 34.0                          | 36.7             |
|     | 抽穗     | 2.2      | 15.2                          | —                |
|     | 成熟     | 0.3      | —                             | 14.2             |
| 玉米  | 幼苗     | 2.14     | 1.12                          | 2.92             |
|     | 拔节—孕穗  | 32.21    | 45.04                         | 69.54            |
|     | 抽穗     | 18.95    | 18.82                         | 27.54            |
|     | 成熟     | 46.70    | 35.02                         | 0                |
| 棉花  | 出苗—三真叶 | 0.7      | 0.3                           | 0.4              |
|     | 现蕾前    | 3.8      | 1.6                           | 2.3              |
|     | 初花     | 10.9     | 7.9                           | 9.0              |
|     | 盛花     | 56.7     | 24.2                          | 36.5             |
|     | 成熟     | 27.9     | 65.9                          | 51.7             |

## 5. 作物营养的临界期和最大效率期

作物营养的临界期是当缺乏某种养分到一定程度时,会对农作物生长发育产生不可弥补的影响,因此,临界期是农作物对环境条件敏感的时期。大多数农作物的临界期都出现在生长发育的转折期。例如,谷类作物的临界期,多数出现在种子营养到土壤营养的转折期。一般谷类作物三叶期前是消耗种子内的养分,称种子营养期。三叶期以后开始生长次生根,并从土壤中吸收养分,这个时期内由于幼根吸收能力弱,或是土壤温度低,养分的有效性差,都会发生养分吸收上的困难,所以谷类作物的三叶期常常是作物营养的临界期。

大多数谷类作物磷的临界期是三叶期。冬小麦氮的临界期是在分蘖期和幼穗分化期,这个时期缺氮会导致严重减产。谷类作物的拔节期是钾的临界期,这个时期缺钾就会发生倒伏或感染病症。农业生产中常常用种肥技术来克服临界期由于缺乏某种养分所产生的严重影响。

作物营养的最大效率期,实质上就是吸收养分最多的时期,因为这个阶段吸收的养分能发挥出最大的生产潜力。一般农作物最大效率期,如玉米的抽穗期、冬小麦拔节—抽穗期、棉花的盛花—始铃期。最大效率期的施肥经济效益非常显著,这个时期缺肥必然导致严重减产。

作物营养的临界期、最大效率期是施肥中的两个关键时期,在这两个时期内必须充分保证农作物的正常营养,这是获

得高产的基本条件。

## 6. 农作物对肥料的利用率

肥料利用率也叫肥料利用系数,它是指肥料中某种营养元素被当季农作物吸收利用的数量,及其占施用肥料中该种营养元素总量的百分数。在正常情况下,肥料利用率越高,肥料中有效成分损失越少,而肥料的增产效益则越大。因此在施肥中必须了解各种化肥、有机肥料的利用率。

根据我国目前测定,一般化肥中氮素的利用率约30—75%,磷的利用率很低,约10—25%,钾的利用率约50%左右。有机肥料中各种养分的利用率比化肥更低些。不同土壤、不同农作物、不同施肥方法和不同肥料种类,肥料利用率也各不相同。以氮素为例,不同农作物对肥料中氮的利用率以玉米最高,水稻、棉花、冬小麦次之,油菜、马铃薯最低(表3)。

据中国科学院南京土壤研究所176个试验的统计,不同作物对过磷酸钙的利用率大约在7—26%之间。若把水稻、小麦、玉米、紫云英四种作物对过磷酸钙中磷的利用率相比,以紫云英最高,玉米次之,水稻、小麦最低(表4)。诚然,磷肥利用率的高低、尚与磷肥的施用方法有很大关系。穴施的利用率则高于混施,前者利用率是28—38%,而后者是4—11%。所以提倡磷肥集中施用,以提高磷肥的利用率。不少高产农户施肥的经验表明“磷肥撒一片不如施一线”,这充分证明磷肥集中施用的优越性。近代科学研究表明,磷肥施入

表3 不同农作物对化肥中氮的利用率

| 作物  | 化肥的利用率 (%) |
|-----|------------|
| 水稻  | 40—50      |
| 小麦  | 27—41      |
| 棉花  | 46左右       |
| 油菜  | 29左右       |
| 玉米  | 52—78      |
| 马铃薯 | 20—30      |

土壤中被固定后仍可缓慢释放供给农作物吸收利用,称之为“磷肥的残效”。苏联柯索罗诺娃(A. M. Косолонова, 1974)利用向日葵研究被土壤固定的各种形态的难溶性磷的利用。她证明向日葵可以利用被土壤固定的铝磷、铁磷、钙磷中的磷,如以 $P_2O_5$ 吸收率计算,以普钙为100%,它们分别是75%、64.4%、48%,这表明即使被土壤固定的难溶性形态磷,对某些需磷植物(如向日葵)仍有一定的有效性。特别是向日葵的生育盛期,如花盘形成期或花期对难溶性磷的吸收能力更强,因此1976—1979年库克正式修正了土壤固定态磷对农作物无效的观点,库克认为凡是施入土壤的磷肥几乎都可被农作物吸收利用。因此,对于磷肥不能只计算当季的利用率,必须在连续施用磷肥的条件下研究磷肥的总利用率,即当季利用率与残效利用率的总和,这个总利用率称之为“磷的迭加利用率”,它显著地高于当季利用率。国外研究表明小麦磷的迭加利用率为30%,大麦为27%,马铃薯为37%,甘蓝为49%。目前我

国缺乏肥料长期定位试验的系统资料,据中国科学院林 土研究所沈善敏的估计,在固磷力较强的红壤上磷的迭加利用率为 35%,石灰性土壤为 45%,黄壤、白浆土为 40%,中性土壤为 50%。当然这些都是估计值,有待各地肥料长期定位试验进一步修正。由此可见,从轮作施肥角度来看,计算磷肥的施用量必须以迭加利用率为基础,否则就会产生施肥量估计上的偏高,引起肥料施用上的浪费。

表 4 不同作物对过磷酸钙中磷的利用率

| 作物  | 土 壤      | 磷肥施用量<br>(斤/亩) | 利用率<br>(%) |
|-----|----------|----------------|------------|
| 水 稻 | 红壤性水稻土   | 20—40          | 7—14       |
| 小 麦 | 苏皖石灰性冲积土 | 20—30          | 8—14       |
| 紫云英 | 红壤性水稻土   | 20—40          | 14—23      |
| 紫云英 | 江苏南部白土   | 20—40          | 14—26      |
| 玉 米 | 华北褐土     | 30             | 10—25      |

同一种农作物对不同种类的氮肥利用率也不相同,试验表明,水稻对铵态氮肥的利用率高于硝态氮肥。不同氮肥种类利用率高低如下:硫酸铵>尿素>氯化铵>硝酸铵>硝酸钠。因此,水田施用铵态氮肥是符合科学施肥原则的。不同有机肥料中养分的利用率也不相同,且差异较大,如人粪尿中养分的利用率为 40—60%,而塘泥养分的利用率只有 15% (表 5)。施肥中必须考虑到肥料利用率,否则就会由于肥料浪费而降低施肥的经济效益,显然这是得不偿失。