



河北农业大学农学系
《施肥手册》编写组 编

施肥手册



河北科学技术出版社

施 肥 手 册

河北农业大学农化教研室

《施肥手册》编写组编

河 北 科 学 技 术 出 版 社

施 肥 手 册

河北农业大学农化教研室

《施肥手册》编写组编

河北科学技术出版社出版 (石家庄市北马路45号)

唐山市人民印刷厂印刷 河北省新华书店发行

787×1092毫米 1/32 12,875印张 216,000字 印数: 1—19,500 1985年3月第1版

1985年3月第1次印刷 统一书号: 16365·38 定价: 1.75 元

前 言

肥料是农业生产的重要物质基础。自六十年代中期以来，我国化肥工业有了很大发展，化肥施用水平迅速提高。但是，由于使用方法不当，化肥的增产效果却有所下降，因此，经济合理地施用化学肥料和有机肥料，对于提高作物产量、改善产品品质、培养地力和增加经济收益都起着重要的作用。为了普及有关合理施肥的基本理论和技术，充分发挥肥料在农业生产中的作用，我们编写了该手册。

本书共分五部分，第一部分为施肥概论；第二部分为化学肥料与有机肥料；第三部分为主要作物施肥；第四部分为肥料田间试验及统计检验；第五部分为肥料分析。

本书是集体编写的，第一部分由李仁岗审定；第二部分化学肥料由吴文可审定；有机肥料由王淑敏审定；第三部分由王恒铨、李伯航审定；第四部分由芦宏杰审定；第五部分由周正卿审定。全书完成初稿后，邀请河北省植保土肥所赵哲权、刘宗衡、孙祖琰等同志审阅并提出宝贵意见，特致衷心的感谢。

由于我们水平所限，难免有错误之处，希读者指正。

河北农业大学农化教研室“施肥手册”编写组

1984年3月

目 录

第一部分 施肥概论	(1)
一、作物营养与施肥	(1)
(一)作物生长发育所必需的营养元素及其生理功能	(1)
(二)作物对养分的吸收	(8)
(三)影响作物根部吸收养分的环境条件	(11)
(四)作物矿质营养的基本特性	(14)
二、土壤特性与施肥	(20)
(一)土壤养分的形态和转化	(21)
(二)土壤的保肥性和供肥性	(28)
三、肥料的增产效应与经济合理施肥	(31)
(一)肥料的增产效应	(31)
(二)肥料增产效应的经济分析	(35)
(三)施肥量的确定方法	(43)
第二部分 化学肥料和有机肥料	(52)
一、氮肥	(52)
(一)氮肥的种类和性质	(52)
(二)氮肥的合理分配和施用	(65)
二、磷肥	(69)
(一)磷肥的种类和性质	(69)
(二)磷肥的有效施用	(76)
三、钾肥	(79)

(一) 钾肥种类和性质	(79)
(二) 钾肥的合理施用	(82)
四、微量元素肥料	(84)
(一) 硼肥及其施用	(84)
(二) 锰肥及其施用	(86)
(三) 锌肥及其施用	(87)
(四) 铜肥及其施用	(88)
(五) 钼肥及其施用	(89)
(六) 铁肥及其施用	(91)
五、复合肥料	(92)
(一) 复合肥料的意义	(92)
(二) 复合肥料种类和性质	(93)
六、人粪尿	(98)
(一) 人粪尿的成分和性质	(98)
(二) 人粪尿的贮存	(100)
(三) 人粪尿的卫生处理	(100)
(四) 人粪尿的施用	(101)
七、家畜粪尿和厩肥	(102)
(一) 家畜粪尿的成分和性质	(102)
(二) 新鲜厩肥的成分	(105)
(三) 厩肥堆制的变化	(106)
(四) 厩肥的施用	(108)
八、堆肥及沤肥	(110)
(一) 堆肥	(110)
(二) 沤肥	(120)
(三) 秸秆直接还田	(121)
(四) 沼气发酵肥料	(126)

九、杂肥	(132)
(一)泥土肥	(132)
(二)饼肥	(135)
(三)海肥	(137)
(四)家禽粪和蚕粪	(138)
(五)污水	(139)
(六)城市垃圾	(142)
十、河北省常见绿肥	(142)
(一)绿肥在农业生产上的作用	(143)
(二)河北省常见绿肥的栽培及利用	(145)
十一、菌肥	(160)
十二、肥料的混合与贮存	(168)
(一)肥料的混合	(168)
(二)肥料的贮存与保管	(172)
第三部分 主要作物施肥	(174)
一、小麦施肥	(174)
(一)小麦丰产的土壤条件	(175)
(二)小麦合理施肥的基础知识	(175)
(三)冬小麦施肥技术	(184)
(四)春小麦施肥技术	(191)
二、玉米施肥	(193)
(一)玉米丰产的土壤条件	(194)
(二)玉米合理施肥的基础知识	(195)
(三)玉米施肥技术	(201)
三、水稻施肥	(205)
(一)水稻土的特性	(205)

(二) 水稻合理施肥的基础知识	(208)
(三) 水稻施肥技术	(212)
四、谷子施肥	(216)
(一) 谷子丰产的土壤条件	(217)
(二) 谷子施肥技术	(218)
五、甘薯施肥	(221)
(一) 甘薯丰产的土壤条件	(222)
(二) 甘薯合理施肥的基础知识	(222)
(三) 甘薯施肥技术	(224)
六、马铃薯施肥	(226)
(一) 马铃薯丰产的土壤条件与轮作换茬	(227)
(二) 马铃薯合理施肥的基础知识	(228)
(三) 马铃薯施肥技术	(230)
七、棉花施肥	(231)
(一) 棉花丰产的土壤条件	(232)
(二) 棉花合理施肥的基础知识	(233)
(三) 棉花施肥技术	(237)
第四部分 肥料田间试验及统计检验	(246)
一、肥料田间试验	(246)
(一) 肥料田间试验的基本要求	(246)
(二) 试验方案设计	(247)
(三) 试验地的选择	(258)
(四) 田间试验的小区设计	(259)
(五) 试验的实施	(267)
(六) 总结	(270)
二、试验结果的统计检验	(270)
(一) 统计检验的一些基本知识	(271)

(二)两个样本平均数差异显著性检验	(276)
(三)方差分析	(281)
三、肥料效应函数的配置及统计检验	(321)
(一)一元二次多项式回归方程的配置及检验	(322)
(二)二元二次多项式回归方程的配置及检验	(332)
第五部分 肥料分析	(346)
一、肥料分析工作的基本知识	(346)
(一)分析试剂的选择及蒸馏水的质量检查	(346)
(二)洗涤液的配制及器皿的洗涤	(348)
(三)溶液浓度的表示方法	(349)
(四)标准酸碱溶液的配制和标定方法	(350)
二、肥料分析	(352)
(一)肥料样品的采集与处理	(352)
(二)主要化学肥料的快速鉴别法	(353)
(三)氨水中含氮量的测定	(357)
(四)碳酸氢铵含氮量的测定——酸量法	(360)
(五)其它铵态氮化肥中含氮量的测定	(360)
(六)硝酸态氮肥(包括硝酸铵)中氮的测定	(362)
(七)尿素中酰胺态氮的测定	(363)
(八)过磷酸钙中有效磷的测定	(364)
(九)过磷酸钙中游离酸总量的测定(中和滴定法)	(366)
(十)磷矿粉中磷的测定(钒钼黄比色法)	(367)
(十一)有机肥料中全氮的测定	(368)
(十二)有机肥料中全磷的测定(钒钼黄比色法)	(372)
(十三)有机肥料中全钾的测定(火焰光度法)	(372)

附录表		(373)
附表 1	常用正交表.....	(373)
附表 2	t 值表	(375)
附表 3	F与t值表.....	(376)
附表 4	Duncan's 新复极差测验5%和1%SSR值表.....	(390)
附表 5	5%及1%q 值表.....	(394)
附表 6	正交多项式表.....	(397)
附表 7	矿质肥料系统鉴定图表.....	(398)

第一部分 施肥概论

一、作物营养与施肥

肥料是作物的粮食。施肥是为了供给作物营养物质。因此，首先应了解作物的营养特性并结合土壤、气候、栽培技术等外界环境条件，合理施用肥料。

(一)作物生长发育所必需的营养元素及其生理功能

1. 作物生长发育所必需的营养元素 作物生长发育需要从外界环境中吸收营养元素。据分析，在作物体内发现的化学元素达六、七十种。目前已确定为作物生育所必需的营养元素有十六种，即碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)、钼(Mo)、硼(B)、氯(Cl)。

就作物组成来说，一般新鲜作物中含有75—95%的水分和5—25%的干物质。在干物质中，碳、氢、氧、氮四种元素约占95%以上。所以，这四种元素是构成作物体的主要元素，若将干物质燃烧，则碳、氢、氧、氮和小部分硫散失于空气中，剩下的残渣称为灰分。灰分只占干物质的1—5%。灰分中含有钙、镁、钾、硅、磷、硫、氯、铝、

钠、铁、锰、锌、硼、钡、铜、钼、镍、钴、钒等几十种元素。

上述这些元素，在作物体内含量不同。如碳、氢、氧、氮、磷、硫、钾、钙、镁等营养元素，在各种作物中含量都比较多，占作物干重的百分之几到千分之几，称为大量营养元素。其中氮、磷、钾三种营养元素，一般土壤中含量较少，而作物在生长发育过程中需要量较大，常常需要通过施肥来补充，故称之为肥料三要素。作物体中含量较少的营养元素，如铁、氯、硼、锰、铜、锌、钼等，其含量占作物干重的万分之几至十万分之几，称为微量元素。现将作物必需的营养元素的含量及其吸收形态和来源列于表(1—1)。

表1-1 作物必需营养元素的吸收形态来源及含量

必需营养元素		在干物中的 含量(%)	主要吸收形态	主 要 来 源
大 量 营 养 元 素	碳(C)	45	CO ₂	大气
	氧(O)	45	O ₂ , CO ₂	大气和土壤空气
	氢(H)	6	H ₂ O	土壤水
	氮(N)	1.5	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	土壤(豆科作物能利用空气中的氮素)
	钾(K)	1.0	K ⁺	土壤

续表

必需营养元素		在干物中的 含量(%)	主要吸收形态	主 要 来 源
大量 营 养 元 素	钙(Ca)	0.5	Ca^{++}	土 壤
	镁(Mg)	0.2	Mg^{++}	
	磷(P)	0.2	H_2PO_4^- , HPO_4^{--}	
	硫(S)	0.1	SO_4^{--}	
微 量 营 养 元 素	氯(Cl)	0.01	Cl^-	土
	铁(Fe)	0.01	Fe^{++} , Fe^{+++}	
	锰(Mn)	0.005	Mn^{++}	
	硼(B)	0.002	BO_3^- , $\text{B}_4\text{O}_7^{--}$	
	锌(Zn)	0.002	Zn^{++}	壤
	铜(Cu)	0.0006	Cu^{++} , Cu^+	
	钼(Mo)	0.00001	MoO_4^{--}	

从表1-1可见, 作物体内各种必需营养元素含量的差别可达几十倍到几十万倍。但是, 它们各具有特殊的生理功能, 彼此不能互相取代。如果缺乏某一种营养元素, 作物就不能正常生长发育, 即使其它营养元素很充足, 作物产量也要受到影响, 所以, 各种营养元素对作物的生长发育具有同等重要的作用。另外, 任何一种营养元素对作物都不能单独起作用, 如果把作物培养在单一盐类的溶液中, 不久便会呈

现不正常状态，以致死亡，这种现象称为单盐毒害。因此，各种营养元素彼此间是相互联系，相辅相成的。例如，氮素能促进蛋白质的合成，但如果磷、钾等元素缺乏，蛋白质的合成就会受到抑制。又如氮素有利于茎、叶的生长，而磷钾有利于根系的发育，因此，在作物生长发育的各阶段，只有氮、磷、钾等元素供应充足时，作物才能根深叶茂，改善种实品质，提高产量。

2. 必需营养元素的生理功能

(1) 氮：氮素是蛋白质的重要组成成分，而蛋白质又是生命活动的物质基础。从植株外部形态来看，氮素能显著加速茎叶等营养器官的生长。核酸也含有氮素。核酸是作物遗传信息的传递者。氮又是叶绿素的组成成分。叶绿素是作物进行光合作用的场所。当氮素充足时，光合作用旺盛，作物叶片较大，叶肉内叶绿素多，叶片鲜绿色，叶肉蛋白质含量高，叶片功能期延长。氮素也是酶的组成成分。酶是作物体内进行新陈代谢的生物催化剂。其他像磷脂、植物碱和多种维生素、生长素也含有氮素。

作物氮素充足时，生长茂盛、分枝（分蘖）多、花多、粒重、产量高。氮素过多时，作物营养体生长过旺，茎秆柔软、徒长，成熟期延迟，常引起小麦倒伏，棉花落蕾落铃，甘薯结块小。氮素缺乏时，叶色变黄，植株细瘦矮小。谷类作物叶小，蘖少，穗小，粒不饱满，产量低。

氮素还能影响农产品的品质。例如，氮素充足时，小麦籽粒中蛋白质含量增多。但对糖用甜菜后期增强氮素营养反而降低出糖率。

作物主要吸收硝态氮(NO_3^-)和铵态氮(NH_4^+)。豆科作物还可靠与其共生的根瘤菌固定空气中的氮素。

(2) 磷：磷是构成作物体内许多重要有机物的成分。例如核酸、核蛋白、磷脂、植素、磷酸腺甙和许多酶中都含有磷。核酸、核蛋白、磷脂是原生质和细胞器的组成成分。正常的磷素营养能加速细胞分裂与繁殖，促进生长发育，提早成熟，促进根系发达，有利于保持优良品种的遗传特性。磷酸腺甙能贮存和释放能量，对能量传递起重要作用。植素是种子中磷的贮存形态，当种子萌发时，能把其中的磷酸解离出来，供幼苗需要。多种含磷的酶，参与光合作用、呼吸作用和氮素代谢。缺磷时，这些代谢受阻。

在光合作用中，从光能利用及最初产物的形成，到蔗糖、淀粉和脂肪的形成，都需要磷的参加。所以，改善磷素营养，可使谷类作物籽粒饱满，提高块根、块茎作物的淀粉含量，提高浆果、干果和甜菜含糖量以及油料作物含油量。磷能促进糖类在作物体内的运转。当缺磷时，油菜、玉米、番茄等作物叶片呈紫红色，这是由于叶中糖的运输受阻，形成花青素所致。

磷还能提高作物的抗寒抗旱能力。这与磷能提高原生质束缚水的能力、体内可溶性糖的含量及促进根系发达有关。因此，越冬作物施用磷肥，有利于安全越冬。此外，作物体内含有相当数量的无机磷化合物，有降低酸碱反应变化的能力。因此，盐碱地施用磷肥，可提高作物耐碱能力。

作物主要吸收正磷酸根(H_2PO_4^- , HPO_4^-)。缺磷时，植株生长缓慢，矮小，叶色暗绿或呈紫红色。禾谷类作物缺磷

时，分蘖，开花和成熟期延迟，穗粒少、不饱满。玉米果穗秃顶，果树花果脱落。

(3) 钾：作物从土壤中吸收钾离子，进入作物体内仍呈离子态或吸附态存在，不形成稳定的结构物质。钾是作物体内很多重要代谢反应所需酶的活化剂。所以，钾的生理作用很广泛。

钾能增强作物的光合作用，对碳水化合物的代谢与合成，碳水化合物的运转都起着重要作用。所以，在缺钾土壤上施用钾肥，对于以收获碳水化合物为主的作物如薯类作物、纤维作物、糖用作物以及油料作物，不仅能提高这些作物的产量，还能分别提高这些作物的淀粉含量、纤维长度和拉力、糖含量和油脂含量。

钾对氮素代谢、蛋白质和核酸的合成也是必需的。因为钾是合成这些重要有机物所需酶的活化剂。钾能避免或减轻氮素过多而产生的一些不良作用。例如，氮素过多，易引起谷类作物倒伏，降低果实和蔬菜的耐贮性，降低作物抗病抗寒性。而钾可以避免或减轻这些不良作用。

钾能提高作物的抗逆性。例如，钾能提高作物的抗旱、抗寒、抗盐和抗病虫害的能力。这与钾能提高细胞内离子浓度，提高渗透压，减少水分蒸发，提高细胞膜的持水能力，促进细胞壁增厚，增加表皮细胞硅质化程度等有关。

作物缺钾时，首先表现在植株下部老叶叶尖和边缘发黄，继而变褐、枯萎。常在叶片上出现棕褐色斑点，甚至连成斑块，而叶主脉附近仍呈绿色。严重缺钾时，症状可由下部老叶逐渐扩展到上部叶片。谷类作物缺钾时，茎秆细小柔

软，易倒伏。棉花缺钾时，铃瘦小不易开裂，纤维质量差。

(4) 铁：铁是叶绿素形成所必需的元素。叶绿素本身不含铁，但缺铁叶绿素不能形成，出现“缺绿病”。铁是作物进行呼吸作用所需酶的组成成分。铁又是固氮酶的组成成分，是生物固氮酶所不可少的元素。

铁在植物体内不易移动。所以，缺铁时症状表现在植株上部嫩叶发黄，而下部老叶正常。林木、果树整个新梢叶片发黄。河北省石灰性土壤上苹果、桃、梨、花生等，常见有缺铁症状。

(5) 硼：硼能促进生殖器官的正常发育。缺硼时，花药和花丝萎缩，妨碍受精作用，籽粒不能正常发育，甚至不能形成。如缺硼时，甘蓝型油菜“花而不实”，棉花“蕾而不花”，春小麦“穗而不实”，苹果缩果病等。硼能增强糖在体内的运转。硼对豆科作物根瘤的形成和固氮能力也有良好作用。

缺硼时，作物分生组织的细胞分化过程受阻，首先是根尖和茎的生长点受害，根系发育不良，嫩叶基部缺绿，叶卷曲，顶芽死亡。

(6) 锰：锰是叶绿体的结构成分，参与光合作用水的光解。锰是许多重要酶的活化剂，对呼吸作用、蛋白质的合成与水解、硝态氮的还原都起着重要作用。

锰能促进种子发芽和幼苗生长，加速花粉发芽和花粉管伸长，提高结实率。缺锰时，幼叶叶脉间失绿，失绿部分常发生焦灼状斑点。

(7) 锌：锌能促进作物体内生长素（吲哚乙酸）的形成。