

肥料

吉林人民出版社

● NONGYE KEXUE JISHU ZHISHI CONGSHU

农业科学技术知识丛书



出版说明

为适应农业生产发展的新形势，进一步提高农业领导干部、农业技术人员以及广大知识青年的农业科学技术水平，满足他们学习农业科学基础理论知识和先进技术的需要，我们邀请吉林农业大学有丰富教学经验和生产实践经验，并参加吉林省举办的农业干部培训班教学工作的副教授、讲师编写了一套农业科学技术知识丛书，共分七册：《植物生理》、《土壤》、《肥料》、《作物遗传育种》、《作物栽培理论与技术》、《植物保护》、《农业气象》。

这套丛书在编写上，力求针对农业领导干部和基层技术人员接触实际多，生产实践经验比较丰富的特点，主要以介绍农业科学基础理论知识为主，紧密联系实际，深入浅出，通俗易懂地阐述农业科学的基本原理和先进生产技术，内容比较全面、系统。可作为各地农业培训班的教材，也可供各地农业干部、技术人员及知识青年自学之用。

《肥料》一书共分四章。第一章着重阐述作物营养与施肥的基础知识，第二章介绍各种有机肥料所含营养成分、性质和在堆沤积制过程中养分的转化、保肥措施、施用方法，第三章叙述各种无机肥料的成分、性质和施入土壤中的转化、合理施用、贮运保管等措施，第四章简要地介绍肥料田间试验方案的制定和统计分析方法。

一九八二年三月

目 录

第一章 作物营养和施肥	1
一、作物生长发育所必需的营养元素及其生理作用	1
(一) 作物必需的营养元素	1
(二) 各种营养元素的主要生理作用	3
(三) 营养元素的同等重要律(不可代替律)	
和最小养分律	8
二、作物对养分的吸收	10
(一) 根部对养分的吸收	10
(二) 叶部对养分的吸收及根外营养	15
三、作物的营养特性	16
(一) 作物需要各种营养元素数量上的差异	17
(二) 作物对营养元素存在形态上的反应	19
(三) 作物营养的阶段性的	20
四、作物缺乏营养元素的症状及诊断	24
(一) 根据缺素作物的外形特征进行诊断	24
(二) 植株营养状况的化学诊断法	29
五、影响作物营养的环境条件	35
(一) 气候条件	35
(二) 土壤条件	37
六、农业生产中营养元素的循环和调节	48
(一) 氮素的循环与调节	49
(二) 磷、钾的循环与调节	51

第二章 有机肥料	54
一、粪尿肥	55
(一) 人粪尿	55
(二) 家畜粪尿与厩肥(圈粪)	63
二、堆肥和沤肥	72
(一) 堆肥	72
(二) 沤肥	82
三、秸秆还田与沼气肥	83
(一) 秸秆还田	83
(二) 沼气肥	85
四、草炭及腐植酸类肥料	90
(一) 草炭	90
(二) 腐植酸类肥料	94
五、泥土肥及杂肥	100
(一) 炕洞土	101
(二) 泡沟泥	102
(三) 老墙土与地皮土	103
(四) 家禽粪	104
(五) 垃圾	104
(六) 苏子	105
六、绿肥	105
(一) 绿肥在农业生产上的作用	106
(二) 我省发展绿肥应注意的几个问题	109
(三) 我省几种主要绿肥作物的栽培和利用	110
第三章 化学肥料	122
一、氮肥	123
(一) 铵态氮肥	124

(二) 硝酸态氮肥	140
(三) 硝铵态氮肥	141
(四) 酰胺态氮肥和氰氨态氮肥	145
(五) 缓效氮肥	149
(六) 氮肥的合理施用	151
二、磷肥	154
(一) 难溶性磷肥	155
(二) 水溶性磷肥	159
(三) 弱酸溶性磷肥	165
(四) 磷肥的合理施用	169
三、钾肥	171
(一) 钾肥的种类、性质和施用	171
(二) 钾肥的合理施用	177
四、微量元素肥料	179
(一) 土壤中微量元素的含量与转化	179
(二) 微量元素肥料的种类、性质及施用	186
五、复合肥料和混合肥料	190
(一) 复合肥料	191
(二) 混合肥料	197
六、石灰、石膏和镁肥	201
(一) 石灰	202
(二) 石膏	206
(三) 镁肥的施用及肥效	208
七、“废水”、“废渣”的农业利用与环境保护	209
(一) “废水”、“废渣”在农业上利用的意义	209
(二) “废水”	210
(三) 工业废渣	217

(四) 废气·····	219
第四章 肥料田间试验 ·····	222
一、肥料田间试验的设计 ·····	223
(一) 试验方案的设计 ·····	223
(二) 田间试验方案的设计 ·····	227
二、肥料田间试验的实施 ·····	237
三、肥料试验的观察与记载 ·····	238
(一) 观察及记载的项目 ·····	238
(二) 观察记载的方法 ·····	239
四、肥料田间试验的收获、产量计算及总结·····	240
附录：试验结果的统计分析 ·····	243
一、对比法的统计分析 ·····	243
二、顺序区组法的统计分析·····	247
三、正交设计的统计分析 ·····	250

第一章 作物营养和施肥

作物种子种在土壤里，在适当的温度和日光的条件下，得到水分和养分就能发芽、生长发育，形成有机物质和农产品。作物的营养状况对作物产品的数量和质量具有决定性意义，而施肥正是改善作物营养状况的主要手段之一。我们在研究使用肥料时，不仅要研究肥料本身的性质，而且必须了解作物的营养特点、土壤性质、气候条件和其它农业技术措施对施肥效果的影响。在这些错综复杂的因子中，要以作物营养为中心，以施肥为手段，通过深耕改土、灌溉排水及田间管理等综合技术措施的配合，来调节营养物质在土壤和作物体内的作用，以改善作物生育的内在、外在营养条件，从而达到提高产量和改善品质的目的。

一、作物生长发育所必需的营养元素及其生理作用

(一) 作物必需的营养元素

作物的化学组成颇为复杂，一般新鲜作物含有75~95%的水分和5~25%的干物质。如果将水分蒸发掉，再通过燃

烧来处理干物质，就可以证明碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)四种元素约占作物干物质组成的95%。作物经过充分燃烧后，没有挥发的残余物质叫做灰分。灰分中包括几十种化学元素，如钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)、钼(Mo)、硼(B)、氯(Cl)、硅(Si)、钠(Na)、钴(Co)、铝(Al)……等。

作物体内含有的一些灰分元素不一定是它生活所必需的。有些元素本来不是作物所必需的，但可偶然地被作物吸收，甚至还能在作物体内大量积累，反之有些元素作物的需要量和在作物体内的含量虽然极少，然而却是作物生长所不可缺少的营养元素。现已查明作物生长发育所必需的营养元素有十六种，其中含量占作物体干重千分之几以上的营养元素叫作大量元素，如碳(C)、氧(O)、氢(H)、氮(N)、磷(P)、钾(K)、硫(S)、钙(Ca)、镁(Mg)等九种，含量在百万分之几到十万分之几的营养元素叫作微量元素，包括铁(Fe)、锰(Mn)、硼(B)、铜(Cu)、锌(Zn)、钼(Mo)、氯(Cl)等七种。此外，如硅对水稻，钠对甜菜、大麻、亚麻，硒对紫云英，钴对豆科作物的生长发育均有良好的作用，被称为对这类作物的有益元素或必需元素。也还有人认为低剂量的放射性镭和钠对某些作物也是必需的营养元素，这些都有待于进一步研究确定。

如果根据各种必需的营养元素在作物体内的含量，折算出土壤中作物必需元素的消耗量，可以看出每亩地每季主要农作物要从土壤中吸取大量元素几斤到十几斤之多，吸取的微量元素从不到一克到几十克的范围，其平均值如表1—1。

表1—1 主要农作物吸收大量元素和微量元素的近似平均量

大量营养元素(斤/亩)		微量营养元素(克/亩)	
氮(N)	13.3	铁(Fe)	40
钾(K)	13.3	锰(Mn)	40
钙(Ca)	6.66	锌(Zn)	13.3
磷(P)	2	硼(B)	13.3
镁(Mg)	2	铜(Cu)	6.66
硫(S)	4	钼(Mo)	0.66

(二) 各种营养元素的主要生理作用

碳、氢、氧：碳素是植物的生命基础，因为第一，植物体的干物质中有90%是有机化合物，而有机化合物中都含有碳素（约占有机化合物重量的45%）。第二，碳原子是组成所有有机化合物的骨架，好象建筑物的栋梁支柱一样。碳原子与其他元素有各种不同形式的结合，因此决定了这些化合物的多样性。碳、氢、氧通过叶绿素在光能的参与下进行光合作用时，首先制造出简单的碳水化合物—糖类。糖进一步形成复杂的淀粉、纤维素以及蛋白质、脂肪等重要有机物。氧和氢不但参与合成碳水化合物，在作物体内生物氧化还原过程中也起着重要作用。自然界中的碳、氢、氧足够作物的需要，一般情况下无须作为肥料施用。下面仅就需要通过施肥来补充的营养元素的生理作用分述如下：

氮：氮是构成作物体内蛋白质的主要成分，蛋白质中氮的含量占16~18%。蛋白质是组成细胞原生质的基本物质，是生命活动的基础。没有氮就不能形成蛋白质和原生质，也

就没有生命。作物生长发育过程中，作物体内细胞的生长和分裂形成新细胞，必须有蛋白质，没有蛋白质，作物体内新细胞的形成将受到抑制，生长发育则缓慢或停滞。氮还是细胞核中核酸和叶绿素的重要组成成分。叶绿素是作物进行光合作用的场所。叶绿素含量的多少，直接与光合作用的产物—碳水化合物的形成密切相关。作物缺氮时，体内叶绿素的含量减少，作物叶色呈现浅绿色或黄色，其光合作用将会减弱，碳水化合物的产量降低。氮也是作物体内许多酶的成分。酶本身就是蛋白质，作物体内各种代谢过程都必须有相应的酶参加，它起生物催化作用，因而氮素通过酶又间接影响作物体内的物质转化过程。另外，作物体内某些植物激素（如吲哚乙酸和激动素）、维生素和生物碱等也含有氮素。所以，氮素是作物所需的主要营养元素之一。

作物种类和器官不同，含氮量也不同。麦类种子中含氮量为2.2~2.5%，茎秆含氮量为0.5%；豆类种子含氮量为4.5~6.0%，茎秆含氮量为1.0~1.4%。作物生育期间，体内含氮物质常水解成流动状态化合物移向生长中心，由较老的器官移向幼嫩器官。作物接近成熟期，含氮物质大量由营养器官移向繁殖器官或贮藏器官。

磷：作物体中许多重要物质，如核蛋白、磷脂、植素、磷酸腺甙和很多酶中都含有磷。核蛋白是组成细胞核和原生质的主要成分，对作物生长和繁殖起重要作用。磷脂是类似脂肪的物质，是细胞原生质不可缺少的成分。磷脂也是组成原生质膜的重要成分，它对作物选择吸收养分起着重要作用。植素也是磷脂类化合物的一种，它是环己六醇磷酸脂的

钙镁盐，大量存在于种子中。它对促进种子发芽及幼苗供磷起着重要作用。脱氢酶和氨基酸转移酶含有磷，它们能促进作物呼吸和氨基酸的形成。磷酸腺甙在作物体内既可释放“能量”，又可将多余“能量”贮藏起来。这对作物体内的代谢作用具有十分重要的意义。此外，作物体内碳水化合物的合成、转移以及简单的碳水化合物合成复杂的糖类，糖类物质的分解都需磷参与。磷又是含氮化合物和脂肪类物质代谢过程的调节剂。

磷能促进根系发育，促进作物对水分的吸收，同时又能降低蒸腾强度，所以能提高作物的抗旱性能。由于磷能促进糖类、脂类、蛋白质等的形成，故能提高作物的抗寒性。

钾：钾虽然不是蛋白质、脂肪、糖类化合物的组成物质，但能促进植物体内蛋白质、淀粉、纤维素及其它糖类物质的合成，加速新陈代谢作用的进行。

钾能提高作物的光合作用强度，促进碳水化合物蔗糖和淀粉的合成。由于钾促进了碳水化合物的合成，而碳水化合物又是合成脂肪的原料，所以钾也利于油脂的形成。

据研究钾对作物体内六十多种酶具有活化作用。核酸、蛋白质形成的酶促反应过程中，钾离子能起活化剂的作用。所以钾能促进核酸及蛋白质的形成。

钾能增强作物的抗逆性：如钾能促进维管束的形成，增强厚角组织强度，使作物茎秆强健，提高抗病和抗倒伏的能力。钾能使原生质胶体膨胀，利于代谢作用，同时能减低蒸腾强度，增强作物的抗寒、抗旱能力，以及增强作物的耐盐性。

钙：钙主要以果胶酸钙的形态存在于细胞壁的中胶层，它能加固细胞，增加作物对病虫害的抵抗力。钙能使细胞质脱水，使原生质浓缩，增加原生质的粘滞性，减少原生质膜的渗透性。而钾离子却与钙相反，它能增强原生质的水合作用，增强原生质胶体分散度，增加原生质膜的渗透性，所以当钙和钾同时存在时，由于它们互相拮抗的结果，才能使原生质胶体保持正常状态，有利于细胞的正常生命活动。

钙在营养环境中还能消除其他离子的毒害作用，这种作用叫作离子拮抗作用。如钙离子能够消除钠、氢、铵、铝、锰、镁、钾等离子过多的危害。同时钙在作物体内还能中和代谢过程产生的过多的有机酸。

钙对作物根系发育有很大影响，缺钙时根系停止生长，根毛不能形成，而且根表面会出现粘化现象。

镁：镁和钾、磷一样，主要存在于幼嫩器官组织中，植物成熟时则集中于种子中。镁是叶绿素的组成成分之一，缺镁叶绿素不能合成，叶脉仍绿而叶脉之间变黄。

在发酵和呼吸过程中，有许多催化磷酸在化合物内不同位置转移的磷酸变位酶或把磷酸转到己糖（或糖的衍生物）的磷酸激酶，而镁恰是这种酶的活化剂。所以镁能促进呼吸作用，并在碳水化合物的代谢过程中起着很重要的作用。镁也能促进植物对磷的吸收，所以需磷较多的作物同时也需要较多的镁。

硫：硫是蛋白质和有些酶的组成成分，硫还存在于维生素B₁的分子中。十字花科作物的种子和叶中含硫较多。

作物吸收的硫呈氧化态，氧化态的硫进入作物体内经过

还原作用转变成成为还原态的硫时，才能参与构成有机物，所以硫能在作物体内参与氧化还原作用。此外，硫对叶绿素的形成也有一定的影响。

铁：铁在作物体内呈有机化合物存在，许多重要的呼吸酶、氧化还原酶以及固氮酶都属于含铁有机物质。叶绿素中虽不含铁，但铁对叶绿素的形成有重要作用。所以铁与作物体内的氧化还原过程，光合作用以及生物固氮作用都密切相关。

硼：硼多集中于植物的幼嫩分生组织和生殖器官，如柱头、子房、花药中都富含硼。硼能促进柱头萌发、花粉管伸入子房和种子形成。硼对植物体内糖类化合物的运输起着良好的作用。硼还能增强豆科作物根瘤菌的固氮力和提高作物的抗旱、抗寒能力。

锰：锰对糖酵解中某些酶（如己糖磷酸激酶、烯醇化酶、羧化酶）有活化作用；锰也是三羧酸循环中某些酶（异柠檬酸脱氢酶、 α -酮戊二酸脱氢酶和柠檬酸合成酶等）的活化剂，所以锰能提高呼吸强度。锰还是硝酸还原酶的活化剂，植物缺锰就影响它对硝酸盐的利用。锰也是叶绿体的组成成分之一，所以锰与光合作用的关系也很密切。

锌：锌是作物体内碳酸酐酶的成分，能促使碳酸分解为二氧化碳和水以及把二氧化碳水化成碳酸，这与作物光合作用、呼吸作用以及碳水化合物的合成与运转等过程有密切关系。锌能保持作物体内正常的氧化还原势，对于作物体内某些酶（如谷氨酸脱氢酶、乙醇脱氢酶等）有活化作用。此外，作物体内生长素的形成与锌也有关系。

钼：钼是作物体内硝酸还原酶的成分，参与硝态氮的还原过程，使作物更好地利用氮素。钼是固氮酶中钼铁蛋白的一种成分，钼对根瘤菌和固氮菌的固氮作用都有良好的影响。

由于钼的生理功能突出地表现在氮素的代谢方面，它对花生、大豆等豆科作物的增产作用显著。

铜：铜是某些氧化酶（如多酚氧化酶、抗坏血酸氧化酶）的成分，可以影响氧化还原过程。铜又存在于叶绿体的质体蓝素中，质体蓝素是光合作用的电子传递体系的一个单元。

氯：氯在叶绿体内光合反应中起着不可缺少的作用。在细胞遭到破坏，正常的叶绿体光合作用受到影响时，氯能使叶绿体的光合反应活化。

（三）营养元素的同等重要律（不可代替律） 和最小养分律

作物对各种营养元素需要量的差别，可达十倍、百倍、甚至十万倍，但这些营养元素在作物体中的营养作用却是同等重要的，任何一种营养元素的特殊的生理功能，都不能被其它元素所代替，只要缺少一种营养元素，则作物的生长发育和新陈代谢就要受到影响。这种现象被称为营养元素的同等重要律（不可代替律）。如叶绿素中含有大量的氮素却不含铁，但铁与叶绿素的形成关系密切。缺氮不能形成叶绿素，缺铁也不能形成叶绿素。因此，对叶绿素的形成来说，氮和铁是同等重要的。

光合作用是绿色植物吸收阳光的能量，同化二氧化碳和

水,制造有机物质并放氧的过程。但二氧化碳被叶面同化之前必须先水化成碳酸氢根 (HCO_3^-),经过细胞液扩散到叶绿体上,才能参与光合作用。而二氧化碳的水化作用是碳酸酐酶(锌金属酶)的酶促作用的结果。缺锌时,碳酸酐酶的形成受阻,二氧化碳不能水化成碳酸氢根,光合作用不能进行。光合作用过程中,是靠水光解释放出来的氢来还原二氧化碳的,而锰是水光解释放氢过程的活化剂,没有锰,水光解不能进行,光合作用也将不能进行。光合作用的产物—碳水化合物,只有不断运输出去,光合作用才能继续进行。而硼对碳水化合物的运输起着重要作用,缺硼时,碳水化合物将在叶内大量累积,光合作用难以继续进行。可见,锌、锰、硼虽都能促进光合作用的进行,但它们各自发挥不同的作用,同样是不可代替的。

由于作物必需的营养元素不能互相代替,所以在施肥时,必须根据作物的需要,配合施用各种肥料,以免营养比例失调。

由于存在着营养元素的同等重要律(不可代替律),自然就引伸出最小养分律,即作物生长发育所需要的各种营养元素,只要一种营养元素不足,其它各种营养元素都得到满足的情况下,作物的生育状况及产量就要受到不足的那种营养元素的限制,称为最小养分律或限制因子律。因此,在施肥时首先注意补充土壤中最缺乏的那种养分。

作物所必需的营养元素中的碳、氧、氢可由空气和水供给,一般无须作为肥料施用。钙、镁、硫三种元素,大多数土壤可以满足作物的需要。至于一些微量营养元素,由于作

物需要量极少，农家肥料又常常含有这些微量元素，所以大多数作物还不致感到十分缺乏。唯有氮、磷、钾这三种营养元素，土壤里的含量不多，而作物需要量则较多，它们常常成为提高农作物产量的限制因子。因此，这三种营养元素在农业生产上显得特别重要，特称为作物营养三要素。

施肥时，要注意补充土壤中最缺乏的营养元素，要特别注意消除限制因子，但又不能局限于限制因子。例如，某种土壤中，严重缺磷，磷是作物生育的限制因子，可是当大量施用磷肥消除了这个限制因子以后，氮或钾以及其他营养元素又可能成为新的限制因子。所以，施肥时还要注意同时充分满足作物对各种营养元素的需要。

二、作物对养分的吸收

(一) 根部对养分的吸收

1. 作物根系特性与根系对养分的吸收 作物根系可从土壤中吸取养分和水分，根系还可把一些代谢产物排出到植株体外，根系又是许多植物激素或植物生长调节剂的合成场所，根系也可作为营养物质的贮藏器官。

根系所吸收的养分，主要是溶于土壤溶液中的各种无机离子。如钾(K^+)、钙(Ca^{2+})、镁(Mg^{2+})、铁(Fe^{2+})、锰(Mn^{2+})、铵(NH_4^+)、铜(Cu^{2+})、锌(Zn^{2+})等阳离子和硝酸根(NO_3^-)、磷酸二氢根($H_2PO_4^-$)、磷酸氢根(HPO_4^{2-})、钼酸根($HMoO_4^-$)、硫酸根(SO_4^{2-})、碳酸氢根(HCO_3^-)、硼酸根($H_2BO_3^-$)等阴

离子；其次是少量的溶于水的有机态分子，如尿素、氨基酸、糖类、磷脂类、植素、生长素、维生素和抗生素等。此外，根系还可吸收二氧化碳气和氧气等。

植物根系从土壤中吸收养分和水分的同时，不断地影响和改变土壤环境，致使近根土壤的物理、化学以及生物学性状与一般土壤不同。通常认为距根尖8~16毫米的部分为根毛发生区，根毛发生区是吸收养分和水分最活跃的区域。在这一区域内，距根表几毫米到十几毫米范围内的土壤，称为“根际土壤”或“根圈土壤”。“根际土壤”含有大量的根系分泌物，其中主要的是碳水化合物、有机酸、氨基酸、核苷酸、维生素、酶等有机化合物，也含有一些钙、钾、磷、钠等无机物质。由于根系分泌的一些糖类物质在根表皮上形成一层粘液层，这为微生物的大量繁殖提供了良好的条件，因此，“根际土壤”微生物的数量远远多于非根际土壤。由于死亡的根毛经过腐烂分解进行腐植质化，又会使“根际土壤”含有较多的腐植质。“根际土壤”溶液浓度较高，这有利于作物对养分的吸收，但“根际土壤”溶液中的养分不断地被作物根系吸收而消耗，这就需要通过扩散作用加以补充，才能满足作物的需要。

2. 根系对无机态养分的吸收 作物根系对无机态养分的吸收分为被动吸收和主动吸收两种形式。主动吸收是指作物有选择性地吸收所需要的养分，是一个需要能量的代谢过程，也称为代谢吸收。而被动吸收则没有选择性，作物不需要的甚至对作物有毒害的物质，都可以通过被动吸收而进入作物体内。这一吸收方式，属于物理的或物理化学过程，不