

# 农业化学教材

山西农学院土化教研组  
一九七二年十月



0.807

## 绪 论

### 一、以路线为纲，正确贯彻党的肥料政策

伟大领袖毛主席教导我们：“路线是个纲，纲举目张。”解放后在肥料工作上，一直存在着两个阶级、两条道路和两条路线极为尖锐的阶级斗争。刘少奇一类骗子，在每个关键时期对毛主席和党的肥料政策，都从“左”或右的方面进行干扰和破坏。但以马列主义和毛泽东思想武装起来的工农群众，勇敢地捍卫了党的各项肥料政策。

“农业发展纲要”中指出：“农业合作社要采取一切办法，尽可能由自己解决肥料的需要应当特别注意养猪（有些地方养羊）……要做到猪羊有圈，牛马有栏，还应当因地制宜地积极发展各种绿肥作物，并且把城里的粪便，可作肥料的垃圾和其他杂肥尽量利用起来。”1959年党中央又提出以自然肥料为主的积肥造肥运动。毛主席指示：“肥料是庄稼的粮食，肥料不能满足大幅度增产的需要，是当前农业生产上一个极为尖锐的问题。”“搞化肥我不反对，还是靠养猪，养羊，搞绿肥，……”1962年“农村人民公社工作条例”中指出：“生产队应该努力增加肥料，制定全年积肥计划，组织社员常年积肥，……生产队应该合理规定社员交售肥料的任务，并且按质论价，付给报酬，……”。但刘少奇一类骗子恶毒散布“积肥无用”，“肥源挖尽”，“伸手向国家要化肥”等反革命黑货，广大贫下中农坚持路线斗争，彻底批判了反革命黑货，坚持“自力更生”向大自然要肥的豪迈口号：

“让家肥出门，矿肥出土，山肥下山，海肥登陆，水肥上岸，桔杆还田，就地打圈，大种绿肥，广开肥源，把一切肥料都开发利用起来”，“熏、烧、挖、换、扫、铲、退、堆、拾、捞，要很多积肥，十字应记牢，只要肯去找，到处有肥料。”只有广泛开展积、造、保、用的群众性运动，才能为农业丰产提供充足的肥料。

同时，必须遵照“以农业为基础，工业为主导”的方针，“坚决地把工业部门的工作转移到以农业为基础的轨道上来。”毛主席指示：“提到机械化，用机械制造化学肥料这件事，必须包括在内。逐年增加化学肥料，是一件十分重要的事。”我国先后在吉林、兰州、南京、太原、上海、大连、重庆等地建立了大型肥料基地，为我国肥料工业奠定了基础。批判“重洋轻土”、“舍大求洋”等黑线后，坚持大型企业与中小型企业同时并举，中央与地方工业同时并举，洋法与土法生产同时并举等一系列两腿走路的方针。各省、区、县都先后建立了中小型肥料厂，各公社、大队也因地制宜，就地取材，土法上马，建立起许多土化肥厂，现已形成大型厂星罗棋布，中小型、土化肥厂遍地开花，化肥产量蒸蒸日上，为我国农业生产 and 农业化学化提供了极为有利的条件。

施肥必须坚持“农家肥为主，化肥为辅”的方针。贯彻党中央提出“要按土施肥，根据不同土壤，施用不同的肥料，氮、磷、钾等适当配合，提倡分期施肥，多施基肥，勤施追肥，摸清各种作物成长规律，迟效与速效肥相配合，施用得当……”。坚决批判“施肥没巧，粪多就好”的错误论调。一定要贯彻毛主席“合理施肥”的英明指示，经济有效地施肥，使土地愈来愈肥，产量愈来愈高。

解放后，在党中央和毛主席英明领导下，我国肥料工作得到了很大发展。首先对我国劳动人民长期生产实践所获得的肥料识、造、保、用、培肥土壤，丰产施肥等宝贵经验，进行了比较系统的调查研究总结，为发展我国自己的农业化学科学起了极为重要的作用。

我国肥源极为丰富，经过肥源调查发现了许多有机和无机肥源，如廋肥、草炭、风化煤、矽矿粉、钾矿、肥水、城市三废利用等分析鉴定合理利用，为农业提供了充足的肥源。此外，

对绿肥、菌肥、堆沤肥、养猪积肥等广泛研究也卓有成效。

多年来进行的各种肥料试验，特别从1958年以来的全国肥料试验网工作的开展，为查明我国土壤肥力状况，肥料分配和合理施用提供了科学的依据。

总之，在毛主席和党中央英明领导下，正确执行了各项肥料政策，在各项肥料工作上都获得了丰硕的成果。

## 二、肥料在农业“八字宪法”中的地位：

伟大领袖毛主席总结群众经验，高度概括为农业生产的“八字宪法”。在“八字宪法”总体关系中“土”是基础，“肥”“水”“种”是前提，“密”是中心，“保”“工”“管”是基本保证。

“肥”就是“合理施肥”，但要使肥料对作物发挥最大的增产效能，必须将各项增产措施相联系起来，辩证地加以应用。如深耕改土，才能充分发挥肥料效果，搞好土壤调查规划，才能合理分配和施用肥料；发展水利与合理用水，才能充分发挥肥料增产效能和相应地改进施肥技术；不同品种的耐肥性与营养要求也不同，只有应用良种，施肥才能获得最大的经济效益。合理密植，作物才能充分利用土壤养分和施用的肥料；防治病虫害能保证作物健壮生育，有利于养分的吸收利用；精耕细作是充分发挥肥料效果的必要条件；改进工具能提高施肥效率等等。

事物的发展总是相互联系的，同样，合理施肥也为土壤改良，经济利用土壤水分，充分发挥各种增产效能，合理密植，提高对病虫害的抵抗性和田间管理效能等提供了有利条件。因为“每一事物的运动都和它周围其它事物互相联系和互相影响着。”因此，要经济有效地施好肥料，必须紧密联系和灵活运用农业“八字宪法”中各项措施，才能获得作物的全面丰产。

英雄的大寨人就是在毛泽东思想指引下，综合运用农业“八字宪法”的典范。他们在综合运用农业“八字宪法”基础上，

大批积肥保肥和合理施肥，基本上达到了因时、因地、因土质、因地形，因作物合理用肥。我们必须遵照毛主席“农业学大寨”的伟大教导，很好地学习大寨人合理施肥的宝贵经验。

### 三、农业化学的任务和内容：

毛主席教导我们：“科学研究的区分，就是根据科学对象所具有的特殊矛盾的矛盾性。因此，对于某一现象的领域所特有的某一矛盾的研究，就构成某一科学的对象。”农业化学就是研究农业中营养物质循环的作物营养和施肥的科学。施肥的目的在于营养作物，提高土壤肥力，为丰产提供有利条件。因此，不但要了解作物，土壤，肥料三者之间的相互关系和影响；而且要从认识到改造客观世界，定向地提高作物的产量与品质。

就广义的来说，凡是应用化学方法研究农业中的一切问题都属于农业化学的内容。就本门科学来说，主要是研究作物营养、土壤中养分状况，各种肥料的性质和施用方法，作物施肥规律与施肥方法，以及为研究这些问题而提出的农业化学研究方法。基本上归纳为三部分：

(一) 农业化学总论：主要包括作物营养、土壤性质和施肥关系；各种有机肥料、无机肥料以及工农业副产品、废弃物、土杂肥等的性质；在土壤中转化和施肥的关系与技术等。

(二) 施肥法：主要包括作物营养规律，施肥原理和施肥技术，各种主要农作物营养特点和施肥方法；因地制宜地进行肥料的合理分配和有效施用；制定合理的施肥制度等。

(三) 农业化学研究法：农业化学研究方法主要是通过以下几条途径来研究作物、土壤、肥料三者之间的辩证关系。(1) 生产调查与群众经验的总结；(2) 田间试验；(3) 温室培养试验；(4) 实验室研究。以上方法可以单独的，或二、三种或四种方法配合进行研究，才能获得较完善的回答。但所获得的资料必须及时归纳整理和统计分析，以找出反映客观规律的内在联系。

#### 四、农业化学发展概况：

恩格斯说：“科学的发生和发展也是由生产所决定的。”同样，农业化学的发展也是农业生产高度发展所决定的。

农业生产的高度发展促使农业化学科学向深度和广度发展。现在不仅研究氮、磷、钾、钙等基本养分的营养生理，土壤中养分动态情况以及有效施用的条件；而且广泛重视研究并在生产中应用镁、硼、锰、铜、锌、钼等营养元素。不仅研究作物营养合理施肥，提高作物产量；而且各种营养元素之间的相互关系与比例对作物的营养品质和动物营养健康等有关问题的研究，也引起了足够的重视。关于土壤营养状况、养分平衡、养分间的相互抑制与促进，逐步提高土壤肥力等的研究，都为经济有效地施用肥料提供了科学的依据。

为了满足农业高度发展所必需的肥料，近年来对各种有机肥料和无机肥料以及有机—无机复合肥料，长效（缓效）肥料，液体肥料，悬浮肥料，颗粒肥料，高浓度多成分复合肥料，肥料种效剂，刺激性肥料，化肥农药混合肥料等的研究都很重视。而且广泛利用工农业副产品和废弃物与城市废水，垃圾等作为重要肥源，以达到消除公害为农业提供大量有价值肥料的双重目的。从肥料成分上来看，不仅重视氮磷钾各种基本养分，而且根据作物营养要求、土壤养分状况等，还配制成含有 Mg、B、Ca、Zn、Mn、Mo 等高浓度的复合肥料。

通过探讨自然条件和农业技术条件对施肥效果影响的研究，土壤调查与土壤农化图的绘制，就为作物规划、制定施肥制度和经济合理的分配施用肥料，提供了极为有利条件。许多国家不仅定期（一般五年一次）调查测定土壤肥力，绘制了全国性、地区性和基层生产单位的各种养分（N、P、K、Ca、Mg、微量元素及酸硷度等）的土壤农化图，而且通过肥料试验网来查明各地区土壤与种植作物所必需的营养指标，以便按照各种条件

植株经济有效地分配和施用肥料，达到最大的经济效益。同时，对各种作物营养规律的研究，营养条件对产量和品质的影响等，拟定出各种农作物合理施肥的技术与方法，以产定肥有计划的施用肥料。

为了进一步发展农业化学，广泛运用各种先进技术进行农业化学各个领域研究。特别是对温室作物的营养和流动培养液的研究，为农业温室化与工厂化生产创造了有利条件。

伟大领袖毛主席教导我们：“我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步的爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。”因此，我们既应学习现有的农业化学理论和技术，也要尽量采用先进技术，发展我们自己的农业化学科学，学赶超世界先进水平，尽快地把我国建设成为一个社会主义的现代化强国。



## 目 录

绪 论	I-6
第一章 作物营养和施肥	1
第一节 作物必需的养分和施肥	1
第二节 土壤吸收性能和施肥	4
第三节 作物根部营养	9
第四节 作物根外营养	22
第五节 作物营养与施肥	25
第二章 氮素营养与氮肥	32
第一节 氮素营养	32
第二节 土壤中氮的形态及其转化	39
第三节 氮肥及其施用	43
第四节 氮肥的有效施用	57
第三章 磷素营养与磷肥	65
第一节 磷素营养	65
第二节 土壤中磷的含量、形态及其施用	73
第三节 磷肥及其施用	78
第四节 磷肥的有效施用	92
第四章 钾素营养与钾肥	102
第一节 钾素营养	102
第二节 土壤中钾的状况	104
第三节 钾肥及其施用	107
第四节 钾肥的有效施用	111
第五章 微量元素肥料及复合肥料	116
第一节 微量元素肥料	116

第二节	复合肥料	128
第三节	其它肥料	133
第六章	有机肥料	136
第一节	养猪积肥	137
第二节	人粪尿	143
第三节	家畜粪尿及厩肥	154
第四节	堆肥和沤肥	162
第五节	绿肥	169
第七章	广开肥源	179
第一节	泥土肥类	180
第二节	泥炭	189
第三节	肥水资源的开发利用	193
第四节	土化肥	201
第五节	城市垃圾、污水及工农业废弃的利用	217
第六节	杂肥	223
第七节	油饼的合理利用	225

## 第一章 作物营养和施肥

俗话说：“庄稼一枝花，全靠粪当家”。“地靠粪养，苗靠粪长”。“粪合庄稼胃，苗壮叶子肥”。说明我国劳动人民在长期农业生产实践中，充分认识到要种好庄稼必须巧上粪。要想施好肥，必须摸清作物营养的内部规律，再应用到生产中去，以达到“种好庄稼巧上粪，增产粮棉为革命”。

### 第一节 作物必需的养分和施肥

一、作物的成分：经过精密的分析，组成作物的成分几乎包括了自然界存在的全部化学元素，现已确定有74种之多，一般新鲜植物的组成如下：

新鲜植物	水分(75-95%)	}	磷、锰、锶、
干物质(5-25%)	}	灰分(1-5%)	钙、硼、银、
		碳(45%)	镁、铜、氟、
		氧(42%)	硅、钾、等、
		氢(6.5%)	硫、砷、等、
		氮(1.5%)	铁、钴、
			钠、铜、
		氟、碘、	

做各种元素组成植物体的数量分为三类：

- (一) 大量元素：C、H、O、N、S、P、K、Ca、Mg、 $S_2$ 、Fe、Na、Al、Cl、等含量占植物鲜重的 $\times 10 \sim 0.01\%$ 。
- (二) 微量元素：B、Mn、Cu、Zn、Ti、Ba、Ni、Sr、F、Sn等含量占植物鲜重的 $10^{-3} \sim 10^{-5}\%$ 。
- (三) 超微量元素：As、Mo、Co、I、Pb、Hg、Ag、

Au、Ra 及一些放射性元素和稀土金属等。含量占植物鲜重的  $10^{-5}\%$  以下。

二、作物必需的营养元素：通过精密的培养试验，将组成植物的各种元素，进行“去伪存真”的实践析验，现已确定植物生活所必需的元素，我们称为“营养元素”，按其需要量的多少，又可分为以下三类：

(一) 大量营养元素：C、H、O、N、S、P、K、Ca、Mg。

(二) 微量营养元素：Fe、B、Mn、Cu、Zn、Mo、Cl 等。

(三) 超微量营养元素：某些放射性元素和稀土金属等。

目前未能确定和争论的营养元素有：Si、Na、Ti、Co、Ni、Cr、Al 等。

虽然作物必需的营养元素数量各不相同，但它们都是作物生活所必需的，是同等重要而不可代替的。随着科学特别是分析化学和培养试验的发展，人类的认识也是不断前进的。因而上述结论也会得到进一步修正和补充。就目前已初步肯定，并在农业生产中应用的主要是第一、二两类十六种营养元素。

三、土壤成分与施肥：施肥是由各方面的因素决定的，不能单从作物成分和作物必需的营养元素来考虑，还必须知道土壤成分与其可供应作物的营养元素，只有全面了解这些因子后，才能得出通过施肥必须补充供给的营养元素。

有些营养元素作物需要量和土壤含量是不平衡的。碳、氧、氮主要通过大气和水分来满足，大部分碳素通过施肥来供给；钙、镁、铁、硼、锰、铜、锌、钼等可以从土壤中获得，部分可从农家肥料中得到补充。只有氮、磷、钾三种养分，作物需要量多，土壤含有的常不能满足需要，必须通过施肥来供给，所以常把氮、磷、钾称为“作物营养三要素”。群众把粪肥当

作庄稼的粮食，除粪肥能改善土壤性状，供给作物有机养分，微量营养元素外，最主要的是满足作物氮、磷、钾的供应。

表 1-1. 植物与土壤成分平均含量%比较  
(主要营养元素)

化学元素	含量 %		化学元素	含量 %	
	植物中	土壤中		植物中	土壤中
氧	70.0	49.0	硫	0.05	0.08
碳	18.0	2.0	铁	$2 \times 10^{-2}$	3.8
氢	10.0	—	氯	$1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$
氮	0.3	0.1	锰	$1 \times 10^{-3}$	$8.5 \times 10^{-3}$
钙	0.3	1.37	锌	$3 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-3}$
钾	0.3	1.36	硼	$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-3}$
镁	0.07	0.60	铜	$2 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-4}$
磷	0.07	0.08	铜	$2 \times 10^{-4}$	$12 \times 10^{-3}$

我省石灰性土壤中，总含量或有<sup>效</sup>含量常感不足的营养元素是氮、磷、钾、硼、锰、铜、锌、铁等。在施用农家肥料的基础上，常需要补充氮、磷、钾。但在我省目前农业生产条件下，影响作物产量提高的主要矛盾是氮素不足，其次是磷。而这种情形不是固定的，矛盾的主要和非主要的方面互相转化着，事物的性质也就随着起变化”。在多次大量施用氮肥，作物产量不断提高的情况下，也会出现磷不足成为产量进一步提高的限制因素，迫切需要磷肥就会上升为主要矛盾。随着也可能出现钾与其它微量营养元素不足的矛盾。这些都是今后农业生产上应该注意的问题。

## 第二节 土壤吸收性能和施肥

“一切客观事物本末是相互联系的和具有内部规律的”。作物营养与施肥和土壤性质，尤其是和土壤吸收性能密切相关。土壤吸收性能对保蓄养分、养分供应及其有效性、施肥种类、数量和方法，作物对养分的吸收利用，离子平衡等等都有密切的关系。

### 一、土壤吸收性能与养分供应

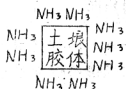
#### (一) 土壤吸收量与施肥：

决定土壤吸收性能的主要是土壤吸收性复合体即无机胶体、有机胶体和有机—无机胶体。所以，土壤质地愈细，腐殖质含量愈高，物理分子吸附、代换离子吸附愈强，这对保蓄养分、调节养分供应、保持生理平衡、防止单盐毒害作用都是有利的。通过物理吸附可以吸附施入土壤的气态分子氮和分子态尿素，有机肥料堆腐保存时盖土也有类似的作用。通过代换吸附可以保蓄土壤养分，调节离子平衡，减少养分的移动和流失。但是相同施肥量情况下，养分的有效性确是较差的，尤其有化学沉淀反应产生时更是如此。所以，在质地细的粘土上或腐殖质含量较高的土壤上，就要适当增加施肥量和集中施肥，以提高作物对养分的吸收和施肥效果；与此相反，在砂质土壤上或腐殖质含量较低的土壤上施肥时，必须注意有机—无机肥料密切配合、二价与—价盐的肥料配合，防止养分流失，营养失调和单盐毒害作用。但相同施肥量对作物有效性确较高。所以，施肥时应本着“少吃多餐”，每次施肥量较少而施肥次数可适当增加。施肥量较多应普施，以提高作物对养分的吸收，防止单盐毒害和养分流失。

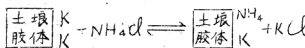
#### (二) 土壤吸收速度、可逆性与施肥：

肥料施入土壤后，立即通过物理吸附，代换吸附和化学吸

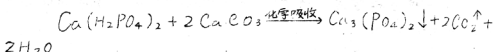
收反应，把养分迅速保蓄或固定下来。



物理分子吸附



代换离子吸附



一般代换吸附瞬时即达平衡，物理吸附和化学吸收速度也较快，而上述化学吸收有沉淀和气体发生，故反应能延续较长时间。由于吸收和吸附很快，因此施肥后立即降雨，也不至造成养分大量流失。在吸收量大的土壤上，肥料施于浅层或集中局部施肥，只有施肥量超过此吸收量时，养分才能逐渐向深层或附近移动。因此，施肥量较少时，直接施于根际层才有效果。由于代换吸附的可逆性，并遵循质量作用定律，所以施一种养分还能改善其它养分的供应，例如施用氯化铵时既能改善氮素营养，也可改善钙、镁等的营养，产生离子平衡防止单盐毒害作用。但正因这样，如多次大量施用某种无机肥料，特别是铵盐、钾盐等一价离子肥料后，逐渐产生钙镁的耗损与流失，使土壤胶体分散、结耕破坏、土壤板结等。所以有机—无机肥料、一价与二价离子肥料配合施用，对改善作物营养、土壤性状都是有利的。

### (三) 代换吸附强度与施肥：

土壤胶体对阴、阳离子吸附强弱次序如下：

阳离子：三价离子 > 二价离子 > 一价离子

其中：一价离子： $\text{H}^+ > \text{KB}^+ > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$

二价离子： $\text{Co}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$

三价离子： $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+}$

阴离子： $F^- > C_2O_4^{2-} > \text{柠檬酸根} > PO_4^{3-} > HCO_3^-$   
 $CH_3COO^- > SCN^- > SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$

无论阴、阳离子，凡是吸附力愈弱的对作物的有效性愈高。因此，吸附力弱的离子，施用少量就会有效，施用量过大时，不仅有害，而且容易流失；与此相反，施用吸附力强的离子肥料时，不仅改善了该离子营养，还能提高吸附力较小离子的有效性。同时，吸附力越强对作物的有效性越低，愈不易从土壤中流失。

阴离子吸附强度，排在后面的几个离子吸附强度极小，甚至产生负吸附作用。例如  $Cl^-$  和  $NO_3^-$  离子不但不能浓缩在胶体表面上，而且浓液中离子浓度常高于胶体表面，即阴离子负吸附作用。这也说明施用硝酸态肥料时，在多雨、灌溉或地下水位较高时， $NO_3^-$  易从根层土壤流失的理由。

土壤胶体为两性胶体，土壤酸硷反应影响胶体带电性，从而影响到代换量以及阴阳离子吸附比例和强度。

## 二、代换吸附态养分对作物的有效性：

土壤胶体所吸附的养分，只有在下述情况下，才能对作物有效。

1. 由于水解，部分养分游离在土壤浓液中。
  2. 吸附态养分转变为微生物生命活动的产物。
  3. 土壤胶体部分地被破坏，游离出营养物质。
  4. 酸硷反应使胶体带电性改变，吸附态养分被解吸到土壤浓液中。
  5. 肥料或有机质分解以及难溶性矿物分解后产生的离子，从胶体上代换出养分。
  6. 根分泌物对吸附态养分的代换作用。
  7. 根毛与土壤微粒紧密接触，直接代换吸收养分。
- 各种作用对吸附态养分的利用都有影响，而且常是各种因



素综合作用的结果。只有正确认识和运用这些客观规律，才能提高吸附态养分的有效性。

作物吸收吸附态养分时，根吸收强度必须大于土壤胶体对该养分的吸附结合能力。当土壤胶体为某种养分高度饱和，而该养分吸附稳定性又不太强时，作物根就容易吸收这种养分。因此，适当冲加施肥量或集中施肥，使土壤吸附达到一定的饱和，就能提高作物的吸收和利用。

当土壤胶体吸附的某养分饱和程度降低时，则该养分的有效性也随之降低。所以，吸附态某养分不多，而且吸附力又很强时，施用该养分很少，首先被土壤胶体吸附，作物就不易利用，有效性显著降低。因此，在严重缺乏某养分的土壤上，施肥量过少而又不集中，肥效就很低。

盐碱土尤其代换性钠高的碱土，不仅物理性质变坏，而且吸附态Ca、Mg、K等显著降低，以至对作物无效，或由根内解吸这些离子，造成严重危害。这时，施钙、镁肥不仅能改良碱土，而且能改善钙、镁营养，调节离子平衡，有利于作物生长。

总之，代换吸附态养分的有效性，一方面决定于土壤胶体的成分、性质和吸附能力；另一方面也决定于吸附离子的吸附强度和饱和度。因此，要使其对作物有效，必须适当提高施肥量或集中施肥，以冲加吸附饱和度，使土壤溶液中保有适当数量，同时还应尽量使根毛与土壤胶体接触面冲加，促使作物吸收强烈进行。而且各种吸附离子的比例和饱和度，都能互相抑制或促进其它离子的有效性。所有这些，施肥时都应慎重考虑。

### 三、土壤反应与施肥：

土壤酸硷反应一方面影响作物生活和物质代谢，另一方面影响营养物质的状态和施肥。

各种农作物生长都需要一定的酸硷条件，土壤过酸或过硷都引起蛋白质变性和酶的钝化。酸土游离铁、铝离子过多对作

物发生毒害。作物受到盐害使代谢紊乱，特别是过氧氯化物盐不利于氮素和糖的代谢，影响产量和品质。因此酸、碱、盐土都需要改良。

土壤酸硷度对养分的有效性有重大影响。酸土提高了 Fe、Mn、B、Zn、Al 等有效性，但易产生 Mn、Al 过氧毒害。盐硷土常提高了 P、Zn、K、Mo、B、Mg 等的有效性，但易产生盐硷危害。石灰性土壤常降低 P、Fe、B、Mn、Cu、Zn 等的有效性，而 Ca、Mg 有效性有所改善。

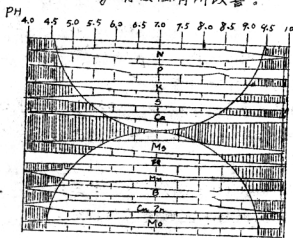


图 1-1. 土壤反应和有效养分含量关系  
(带的宽窄表示有效养分的多寡)

在石灰性土壤上许多果树和林木及部分农作物常发生缺铁症。而且许多微量元素缺乏症常在果树上发现。所以，在石灰性土壤上施用 P、Fe、B、Mn、Cu、Zn 肥料或提高土壤中这些养分的有效性，对保证作物丰产来说是相当重要的。

土壤反应对肥料种类、形态选择、施肥技术等都很重要的。

土壤缓冲性对维持作物正常生长很重要。我国土壤代换率较大，盐基饱和度与石灰含量都较高，所以缓冲性尤其对酸的缓冲性较强。因此施肥、作物和微生物呼吸及代谢产物等对土壤反应影响都不大。

### 第三节 作物根部营养

作物主要通过根从土壤中摄取养分的，但只有在作物内在因素影响下，进行摄取养分的斗争，才能把土壤养分转变为作物所有，它不会把有效养分付诸东流的。

作物吸取养分的形态不外分子态和离子态。呈分子态的主要是有机化合物如尿素、氨基酸、糖类、磷脂类、胡敏酸、生长素、维生素和抗生素等；呈离子态的主要是矿物质养分如  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 、 $\text{Fe}^{++}$ 、 $\text{Mn}^{++}$ 、 $\text{Cu}^{++}$ 、 $\text{Zn}^{++}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 、 $\text{HPO}_4^{--}$ 、 $\text{SO}_4^{--}$ 、 $\text{BO}_3^{--}$ 、 $\text{MoO}_4^{--}$  等等。

#### 一、根细胞对矿物质养分的吸收

人们从实践中得出“生根要肥”的经验。但根如何吸收这些肥分呢？长期以来错误的认为各种养分是被动渗入根细胞的，但无法解释：

1. 根能从极稀的溶液中吸收养分并进行累积。
2. 吸收养分的效率和运转速度与水分无关。
3. 作物有强烈的选择吸收性。
4. 吸收养分和作物生理活动密切相关。
5. 作物吸收养分的周期节律性（生育期、昼夜之间等）。

这些问题只有按照毛主席“内因是变化的根据，外因通过内因而起作用”的教导，从作物内部生理活动过程来解释。现在比较满意的还是“细胞原生质吸附学说”用离子交换原理来说明。此学说虽也广泛应用物理化学代换作用的原理，但不是孤立的，而是和细胞生命活动过程、作物代谢过程以及相应的环境条件紧密联系的。

复杂的细胞原生质胶体的主要成分之一是蛋白质。蛋白质胶体的两性作用和带电性是细胞内部代谢过程和环境条件的综合反映。蛋白质胶体一般具有以下三种电学性质：



离子生成基，即酸性基 ( $\text{RCOO}^- \text{H}^+$  或  $\text{R}^- \text{H}^+$ ) 与硷性基 ( $\text{RNH}_3^+ \text{OH}^-$  或  $\text{K}^+ \text{OH}^-$ ) 等亲水基。原生质对营养离子的稳定吸收是由质膜和中质间的相互作用实现的。一方面质膜经离子交换从溶液中吸附离子并转移到中质内；另一方面，质膜经常受到中质内生命活动的影响，使质膜经常保持正常的吸附能力。中质内呼吸产生的  $\text{H}^+$  与  $\text{HCO}_3^-$ ，随中质流移到质膜上进行离子交换。所以，质膜从外界溶液中吸附阴阳离子和解吸到中质里的数量完全相等。

质膜中所吸附的离子，不断地解吸到中质流中去，被中质吸附或结合成不稳定的化合物。然后，依中质层的浓度变化，经过一系列的吸附和解吸附过程，逐渐移至液胞膜被液胞膜吸附并解吸到液胞中去。细胞吸收养分是主动过程，它与细胞的生命活动密切相关的。中质吸附结合离子的强弱和呼吸过程，蛋白质及其它原生质成分合成强度成正相关性。

过去认为营养离子大多集中在液胞内，而中质只是营养离子的中间转运站。试验证明，营养离子在中质内经常参与复杂的生理活动过程，其积累也是相当多的。尤其在外期的营养试验中，中质内离子常多于液胞，只有在较长期的营养试验中，液胞内才大量积累养分，其浓度常超过外界溶液数十倍乃至数百倍。

此外，当外界溶液营养离子浓度、成分、比例发生变化，或原生质生命活动受到影响时，也能产生离子或个别离子相反的移动方向，即产生倒流排斥现象。

3. 细胞液内离子的积累：营养物质在液胞内大量积累是人们早已熟知的。但液胞内离子积累和外界溶液中离子数量和比例并不成直接关系。液胞内合物为中质分离出的水分和解吸的离子而产生的形成物。其组成决定于中质的生理活动过程。这也说明，细胞主动选择吸收养分的重要意义。

## 二、影响根细胞吸收养分的因素

根细胞吸收养分基本上分为两个阶段：第一阶段就是代换吸附，其吸附速度和达到饱和的速度极快，这是完全依赖于原生质胶体交换吸附的物理过程，此过程与温度的关系不大，完全可逆的；但是代换吸附的同时，伴随着就产生了一系列的离子位移和生理转化过程，即养分吸收第二阶段，基本上属于生物化学过程，是不可逆的。它是在各种酶的作用下，和作物整体生理活动过程密切相关的。此时，能量供应是必不可少的。故温度的增加，主要是促进养分吸收的这一阶段，从而维持养分吸收的稳定离子流，使作物继续不断地从环境中吸收养分。离子吸收强度除与细胞原生质结构特点有关外，还和作物代谢，特别是和呼吸过程、合成作用、环境反应以及温度等密切相关。

(一)呼吸与养分吸收：长期淹水，土壤紧实等常使作物生长不良产生黄化以至死亡，其中主要原因之一就是根部缺乏氧气，抑制呼吸过程，使养分正常吸收受到严重破坏的缘故。

有人试验证明，根细胞的有氧呼吸是由外界吸收阴、阳离子的必要条件。当氧含量降低有氧呼吸受到抑制时，离子吸收就很缓慢，在完全缺氧的情况下，竟至停止呼吸离子或把已吸收的离子分泌出去。为什么呼吸和离子吸收这样息息相关呢？

首先因为细胞内矿质养分往往比土壤溶液高出很多，当根细胞由低浓度的介质中吸收和积累养分时，必须消耗能量，尤其对阴离子吸收，首先必须克服根细胞对液泡产生的负电位势。需要能量更多，有氧呼吸产生的能即可满足此需要。其次，伴随呼吸产生的  $\text{CO}_2$ ，在细胞液中形成  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ，再进一步离解成  $\text{H}^+$  与  $\text{HCO}_3^-$ ，用以对阴、阳离子进行交换。

(二)物质代谢与养分吸收：蛋白质是细胞吸收离子的基质。因此，离子吸收强度和蛋白质数量变化有密切的正相关性。光合作用强度和合成产物的多少，有氧呼吸和氮、磷、硫及其它

营养条件的改善，都大大促进了蛋白质合成与代谢，这就为各种养分的吸收创造了条件。此外，细胞中各种酶的形成和活性（强度与方向），特殊产物的合成（如芥子油、蒜油等）都可以影响养分的吸收。

(三) 环境反应与养分吸收：根细胞周围介质的酸、碱反应，一方面影响土壤养分的总量和消效性；另一方面直接影响作物代谢和生育过程，也就影响到养分的吸收。现在主要探讨环境反应对作物根细胞原生质的电性变化，以及由此而引起对养分吸收的影响。

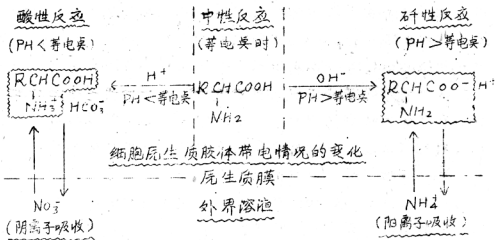


图 1--3: 环境反应对阴、阳离子吸收的影响。

所以，当根细胞周围环境反应(PH值)大于细胞原生质胶体的等电点时，原生质胶体带负电荷占优势，对阳离子吸收有利。与此相反则对阴离子吸收有利。另一说法认为弱碱性反应(即PH值 > 原生质等电点)时，作物体内氧化过程占优势，所以作物体内氧化态化合物有机酸积累多，有机酸愈多，故对阳离子吸收比阴离子较为有利。与此相反，作物体内还原过程占优势，有机酸较少，而还原态物质则较多，而对阳离子吸收就相对减少，对阴离子吸收相对增加。

上述两种说法都有实验依据，故两种可能性都会存在。因

为环境反应既影响原生质的带电性，又能影响其氧化还原过程。但是应该指出，根细胞原生质具有一定的缓冲能力，所以环境反应对原生质的影响，就不会向上述所谈的那样简单，也并不是任何情况下都符合以上规律。例如，有人在精密的燕麦幼苗试验中发现，在PH值逐渐升高(5.5—6.5)时，对磷的吸收显著提高，对钙的吸收显著降低，而对钾的吸收没有发现任何与PH值变化相关的规律。因为，如果溶液成分不同，相关的其它条件发生变化，其结果也可能有差异。

(四)根细胞的选择吸收性：根细胞对养分的吸收，并不完全决定于环境中矿物质成分、浓度和比例，具有强烈地选择吸收性。例如，在盐碱土上生长的作物，其体内所含的矿物质与土壤中盐分的成分、比例并不相同，甚至毫无关系。不同作物对相同环境中养分吸收的多少也会不相同，甚至同一作物不同生育期也有差异。施肥时也常发现各种肥料生理反应也各不相同。所有这些都说明作物根细胞吸收具有强烈地选择性。选择吸收的原因如下：

1. 作物必需的养分( $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 等)吸收后，立即和原生质胶体结合，有的阳离子还能与细胞中氨基酸、蛋白质、有机酸等形成螯环复合物而被束缚起来。有的则参与细胞中的生物化学转化过程，以降低细胞中游离离子的浓度，维持养分的不断吸收。而作物不必需的养分或需要量极微的离子( $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 等)在细胞中多呈游离状态，内外离子浓度迅速达到平衡，而不能继续吸收。然而，外界刺激与细胞的过度兴奋或产生病理现象时，上述规律就会发生混乱，破坏了养分的正常吸收。

2. 作物必需的养分进入根细胞后，迅速转移到相邻的细胞或地上部分参与生物化学转化过程，而使根吸收细胞经常处于不饱和状态，以保持对养分的不断的吸收。



3. 养分的选择吸收与作物的遗传特性有密切关系。不同作物或同一作物不同生育期，依其生物学特性，细胞合成产物的差异，细胞中酶的生理活性（强度与方向）发生变化时，作物根细胞对各种养分吸收的效率和比例都会有变化。

此外，温度、光照、蒸腾、养分的形态和比例，各种激素、抑制剂等都会影响根细胞对养分的吸收。有些问题我们将在相应的章节中阐述。

### 三、根对矿物质养分的吸收和运转

根系对养分的吸收，是各个根细胞吸收养分的总和。

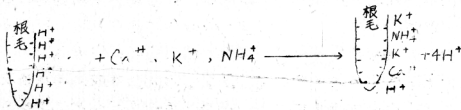
(一) 根吸收养分的部位、从根的解剖构造来看，大部分根的内皮层是离子流不可克服的障碍，因内皮层的细胞壁很厚，而且含有角质的物质。只有离分生组织不远的，幼嫩的根系部分才具有养分容易通过的薄壁细胞。在这一根带紧接着从介质中吸收离子后，就通过皮层移动到中柱层去。同时，此根带生长最快，生命活动最旺盛，强烈地进行呼吸，而且旺盛地进行着蛋白质与其它原生质成分的合成过程。所以，也是吸收离子最旺盛的根带，离根端愈远，吸收离子强度愈小。

根系吸收养分是一个积极的主动过程，吸收养分强度和根系发育，特别是和根毛的增加即根吸收表面的增加，以及根代谢的分泌产物都有密切的关系。所以，吸收最强烈的根带就是生长区和根毛区。同时，营养离子在此根带细胞中结合成不稳定形态也是较多的，当地上部缺乏养分时，也首先被利用。当介质中某养分不足时，作物体内该养分的缺乏首先出现在这部分根细胞里。此外，各种养分经此根带，迅速进行纵向和横向转移。从以上论述中说明，施肥时必须把肥料施于此幼嫩的根际区。

(二) 根吸收养分的方式：适宜的条件下，水膜包围着根毛细胞和土壤胶体，该水膜中除含有根呼吸分泌的 $\text{CO}_2$ 、有机酸

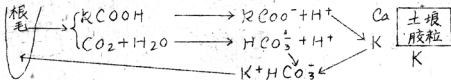
及各种酶外，还含有各种营养离子。营养离子移动方向和速度，决定于它们的浓度和性质以及所结合离子的本性。同时，也决定于作物内在（代谢）和外在（环境）条件。

1. 根从土壤溶液中吸收养分：根系表面与土壤溶液间产生了电位差，促进溶液中游离的离子向根毛移动，进行交换吸收。

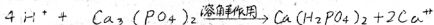


根从溶液中吸收养分勿容置疑的，但仅靠土壤溶液中养分远远不能满足作物需要。实践证明，尽管土壤溶液中离子不多，但作物仍能从土壤中吸收大量养分，说明作物从土壤吸取的养分远远大于水溶性营养物质。

2. 根对土壤固相中养分的利用：根主动从土壤固相中摄取养分是实践所证明的。因为根际养分浓度，随着根系吸收不但不减少，而且很快获得恢复，甚至有时还有所提高。这主要由于根系分泌物碳酸、有机酸和各种酶与土壤固相相互相互作用的结果。



根分泌物与土壤胶粒吸附态离子进行离子交换



3. 接触交换与表面迁移：土壤胶体与根细胞胶体及其复盖的粘液，基本上都属亲水胶体，在紧密接触情况下，使幼根根毛和土壤胶粒粘结合在一起，形成一个统一的系统。当根毛细

胞和土壤胶粒表面上所吸附的离子，其振动超出振动范围时，离子就从这一表面交换转移到另一表面上去，从而根毛细胞就不通过溶液，直接从土壤胶粒上交换吸收养分了。同时，紧密粘附在根毛上的土壤胶粒附近和背面的离子，同样经过离子振动和相邻离子间相互交换，营养离子就不断地向根毛接触处移动，以利根毛不断地进行交换吸收。至于离根毛较远的土壤胶粒上所吸附的离子，也可以通过胶粒间的离子交换，逐渐迁移到和根毛接触的胶粒上去。这样，根毛接触交换吸收养分，就不仅限于直接与根毛接触的胶粒了。如果没有胶粒间离子交换或胶粒表面离子的迁移，这种接触交换吸收养分就变得毫无意义。因为有人研究根系表面积只占土壤微粒表面的  $\frac{1}{256000}$ ，仅靠直接接触根系的土壤微粒代换养分供给作物，只能供给土壤代换养分的  $\frac{1}{256000}$ ，这样的效率和作物需要量相比，真是微不足道了。

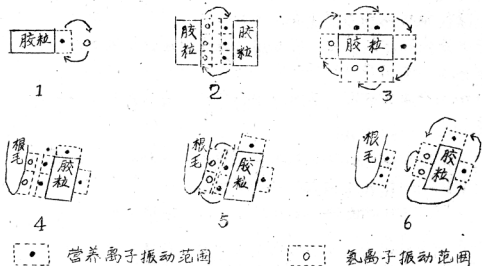


图1-4 根接触交换吸收养分与离子迁移示意图

1. 胶粒与溶液间离子交换
2. 胶粒间离子交换
3. 胶粒表面离子迁移
4. 根毛与胶粒交换吸收前
5. 根毛与胶粒交换吸收时
6. 根毛与胶粒交换吸收后

也有人认为接触交换吸收并不是跳跃式的，而是通过胶粒溶液来进行。“但是应该把事物发展看做事物内部的必然的自己的运动，而每一事物的运动都和它周围其它事物互相联系着和互相影响着”。所以接触交换不应单从物理——化学作用考虑，而应和根细胞内部代谢过程紧密联系起来，只有根细胞代谢正常进行时，才能与土壤胶粒交换吸收强烈进行。因为通气不良、根系病变和土壤胶粒很不饱和时，还能产生接触排斥，即把根已吸收的营养分接触排除出来。

总之：“事物发展的根本原因，不是在事物的外部而是事物的内部，在于事物内部的矛盾性”。作物根主动吸收养分是由于根细胞生理活动，根系分泌物（碳酸、有机酸和酶）等直接影响到土壤固体、气体和溶液之间营养物质的动态平衡，为作物根液流不断地吸收养分创造有利条件。根毛——土壤胶粒循环系统中，所进行的接触吸收就是作物根积极影响土壤胶体，主动吸收养分的重要依据之一。

(三) 矿物质养分在作物体内运转：根系吸收养分后，基本上有三个去向：

1. 在根细胞内参与合成过程，然后再沿输导组织进行转移，或在根组织内累积。
2. 按照根细胞养分浓度差，经过一系列吸附和解吸附作用，向相邻细胞进行纵向或横向转移。
3. 从根细胞逐渐传递转移到中柱层的输导系统内，向作物地上部分转移。

根毛细胞吸收的矿物质养分，在根部转移过程中，一部分即参与有机化合物（氨基酸、核酸、核蛋白、拟脂、尼古丁等等）的合成。合成的有机物，除一部分尚在根部组织外，大部分仍要运到地上部分，进一步经过分解合成作用形成各种化合物。

根细胞吸收的矿物质养分；大部分并不在根内累积，经过一系列吸附和解吸附作用，使矿物质养分通过细胞壁、细胞间隙转移到皮层内，再转入输导系统经过导管随蒸腾液流向作物地上部分转移，有的在转移过程继续参与有机物的合成，而绝大部分转移到生命最活跃的幼嫩部位，除部分仍呈盐存在外，大部分参与有机物的合成过程。

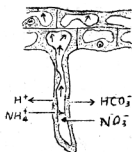


图 1-5  
根毛吸收  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  过程  
(示意图)

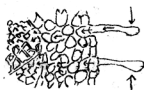


图 1-6  
根吸收养分与转移途径  
(箭头表示养分进入根与转移方向)

矿物质养分(硝酸盐、磷酸盐、钾盐等)吸收后几分钟即达到叶部。其运输速度常大于蒸腾液流的速度。这与作物呼吸强度、物质代谢和地上部合成强度等都有密切的关系。

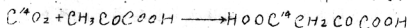
作物生育期内吸收的矿物质养分，主要集中在生命最活跃的部位。当然，各种养分在作物各部位以及不同生育期的分配各不相同。例如，水稻分蘖盛期氮多分布在叶片(61%)和叶鞘(39%)，抽穗后逐步向穗部转移集中；磷酸在生长初期叶鞘含氮比叶片多，随着穗的结实，大部分转移到籽实，到收获期籽实含氮最多，达到吸收总量的71%，茎次之为12%，叶鞘与叶片最大各占8%；钾在生育期多存在于叶鞘中，很少向穗部运转，收获时茎叶还占70%以上；钙在整个生育期绝大部

分存在于叶中，很少向籽实转移；镁在生长初期叶片与叶鞘中含量大致相等，抽穗后大量运至穗中。一般易移动态养分随着生长中心的转移，养分的集中也发生变化，不仅根吸收的养分如此，而且体内已有的养分也常进行再利用。如氮、磷、钾、镁等易移动态养分不足时，就从老组织向幼嫩组织转移，老组织就出现缺乏养分征象而枯萎；而难移动的养分铁、钙、硼、锰等缺乏时，新生幼嫩组织首先出现饥饿症状。作物生育后期和木本植物落叶前，叶子中大部分养分就转移到生殖器官或贮藏器官中去。所以在完熟的植物中，老幼组织间经常进行营养物质的再分配，贮藏器官萎缩，而幼苗生长，老叶衰退，新叶出现，其中包括大量有机物和主要矿物质养分N、P、K等的转移。

矿物质养分的吸收和运转过程是相当复杂的。现在并未获得完全一致的结论。但是人类对自然规律的认识总是逐步深入的，永远不会行止在一个水平上。“因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

#### 四. 根部碳素营养及对有机养分的吸收

(一) 碳素营养：作物根从土壤中吸收 $CO_2$ 或 $HCO_3^-$ ， $CO_3^{2-}$ 等后，即和体内醣代谢产物丙酮酸结合形成草酰乙酸。

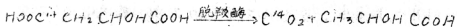


草酰乙酸在体内酶作用下，很易变成苹果酸，并从输导组织转移到叶部。



苹果酸到达叶子后，就在脱羧酶的作用下，分解释放 $C^{14}O_2$ 。

参与光合作用过程。



根吸收和供给的碳素，加强了光合作用过程，促进光合作用产物的累积，提高作物产量。

此外，试验证明，作物根还能利用某些碳酸盐和流动态有机化合物中的碳素，合成醌与其它有机化合物。因此，有机肥料的作用，不仅供给矿物质养分，而且对有机营养和碳素营养也是很重要的。

(二)对有机物的吸收：经灭活培养与离体根培养证明，不供给作物维生素B、维生素C、环己六醇等，作物就不能正常生长甚至死亡，许多生长刺激素（2,4-D、赤霉素等）、抗生素和腐殖质酸盐（胡敏酸铵、胡敏酸钠等）等对作物生活是有利的，并在农业生产上应用，而且获得良好效果。此外，许多流动态的有机物如尿素、氨基酸类、有机磷化物等也能被作物吸收利用。群众实践经验，用少粪白洒浸苜蓿麦种籽，使茎秆坚硬提高抗倒伏性，用少粪油拌种或油渣作肥料都有良好效果。农业生产实践证明，施用有机肥料特别是油饼肥有良好效果，其重要原因之一，就是其中含有大量有机养分和有机化合物，并对农业增产有良好效果，而这些有机物是如何进入作物体内并进行运转呢？

一般有机物多是非电解质，主要通过细胞的透性进入作物体内的。试验证明，溶液中的有机养分，经渗透作用向根细胞作局部运动，有人提出对激素的吸收第一步是很快的，可能是简单的物理吸附，第二步是慢而平稳的，似乎属于代谢过程。如2,4-D快速吸收30分钟，而后慢而平稳的吸收达3小时之久。有机物分子结构与吸收有密切关系，当激素或抗生素通过脂膜相时，极性小的比极性大的化合物有更多的机会进入细胞。激素与抗生素亲脂与亲水基适当平衡是生理活性的必要条件。对有机物如何进到植物体内还不够清楚，需要深入进行研究。

激素在作物体内运转与其它无机物和有机物相似，根吸收的大多通过木质部的导管向上运输，叶子吸收的则通过韧皮部运输。

## 第四节 作物根外营养

我国劳动人民很早就有把草木灰撒在作物叶<sup>片</sup>上供给养分的实践经验。20世纪应用示踪元素的研究,才对根外营养理论作了详尽的探讨,把营养物质施于作物地上部分(主要是茎叶),用以改善作物营养条件称“根外营养”,这种施肥方法称为“根外追肥”。

### 一、叶片怎样吸收养分的?

叶部吸收养料一般是从叶片角质层和气孔进入体内。叶细胞吸收养分与根细胞基本相似。第一阶段也是叶细胞原生质,从喷撒在叶片上的养分中吸附阴阳离子。第二阶段是经过一系列吸附和解吸附向内传递到叶肉细胞,不仅供本叶片合成时营养要求,还能转移到其它叶片,甚至输送到茎与根部。不过大多在叶细胞参与合成过程。叶细胞吸收养分开始属物理过程;接着转移传递和生理转化过程是与物质代谢、呼吸等密切相关的生理过程。

### 二、影响根外营养的条件。

同样,影响根外营养主要决定于作物生理活动过程的内因,外因是通过内因而起作用的。

(一)营养盐的成分:磷、钾与碳水化合物形成密切相关,故根外追磷钾肥对马铃薯、甘薯与甜菜有良好效果;豆类花期喷硼肥能提高产量改善品质;棉花开花结铃期喷“九二〇”与磷肥,能减少脱落提高产量。

各种营养盐成分不同,被叶片吸收速度与效率也有差异。同样阳离子共吸收速度与阴离子密切相关,例如,氯化物盐比硝酸盐、硫酸盐和磷酸盐中的钾吸收较快,但还不及 $\text{NO}_3^-$ 与 $\text{K}^+$ 吸收快;而铵盐比硝酸盐慢;一般无机盐比有机盐快等等。但尿素比其它铵盐较易吸收,而且有良好效果,因此尿素作为根



外追肥远较其它氮肥优越。

(二) 溶液浓度与反应：在一定浓度范围内，营养物质进入叶片的速度和数量，随浓度的增加而增加。因此，根外追肥要求在叶片不受害的情况下，适当提高浓度。溶液呈酸性反应有利于阴离子吸收，碱性则有利于阳离子吸收。故根外追肥主要供应阴离子养分时，溶液可调至弱酸性反应；主要供应阳离子养分时，可调至微碱性反应。

(三) 叶片与养分吸收：叶片表面角质层较厚，接近叶表面部分是栅状组织，比较緻密。叶背面表皮下是海绵状组织，比较疏松，细胞间隙较大，气孔也多，故叶背面比表面吸收养分快。一般双子叶作物棉花、豆类、油菜、甜菜以及薯类等叶面积大，角质层较薄，溶液中养分易被吸收，根外追肥效果也较好；单子叶作物稻、麦、谷等叶面积较小，角质层较厚，溶液中养分吸收较困难，在这类作物上根外追肥时，浓度适当提高，并加入少量“湿润剂”，促进溶液湿润叶片而不滚落，以提高根外追肥效果。

(四) 溶液作用时间：据试验甜菜叶片浸入  $K_2HPO_4$  和  $KH_2PO_4$  溶液中，时间愈长吸收磷量愈多，磷的增加量比钾还要大。说明磷吸收第二阶段比钾更为迅速。一般幼嫩叶吸收养分第一阶段比老叶优越，当进一步转移到叶细胞时，老叶比幼嫩叶快。因此，肥料与叶片长时间接触对幼叶吸收有利，而长时间接触差异不显著，或老叶比幼叶为快，总的趋势是随着叶片与溶液接触时间的加长，对阴阳离子吸收也增加，但并不和叶片接触时间成正比例。许多情况下，叶片与溶液长时间相互作用，并不一定导致吸收养分数量增加，这可能与病理产生有关。

### 三. 根外营养对作物生理过程的影响

“科学的抽象”是科学地反映了客观事物。根外营养之所以产生，是因为影响作物生理过程，从而为增产和品质改善提

供了科学的依据。

(一)对光合作用的影响：用含氮磷营养盐溶液喷于小麦叶片，四小时后光合作用强度提高15~40%，不仅提高光合作用强度，而且能促进光合作用产物向生殖器官或贮藏器官转移。所以，根外营养不局限于叶片同化作用加强，而且扩展到一系列最重要的生理活动。根外营养增强光合作用，从而改善根部有机养分的供应，这样也就引起叶片表面增大以及根从土壤中更强烈地吸收水分和养分。

(二)对呼吸作用的影响：光合与呼吸是作物生理活动中互相对立又互相联结、互相依赖的矛盾统一过程。氮、磷、钾和微量元素硼、锰等根外追肥，都能显著提高作物呼吸强度。矿物质养分进入叶片，加强了酶的活动性，特别促进了氧化酶（过氧化物酶、多酚氧化酶、过氧化氢酶）活动度的加强，从而促进了呼吸过程。

(三)对酶活动的影响：通过根外营养调节酶的活动性，从而延长或缩短生育期。幼嫩叶中生物胶体处于高度分散状态，酶基本上属吸附结合态，促进酶的合成作用，使叶片强烈生长，进一步增强同化面积，合成产物在叶片中大为累积，根外追施氮肥即有利于此过程。但随着作物衰老，叶片中生物胶体亦逐渐老化，分散度降低，酶即被解吸附成分散状态，于是酶的水解过程即占优势，叶片中合成产物即水解转移到积聚贮藏物质的地方——生长果、种子、果实、块根、块茎等，而根外追施磷、钾肥即可促进这一过程。所以作物生育前期，即营养生长期根外追施氮肥，促进合成并积累较多的有机物；而到后期即生殖生长期，作物逐渐衰老，根外追施磷、钾肥尤其是磷肥，就能促进叶片中同化产物水解转移到生殖或贮藏器官，使籽实饱满或块根块茎膨大，并促进早熟。但过早的根外追施磷钾肥，植株正在旺盛生育期，也不能改变叶片中酶活动的方向。因此，

探讨酶的转折与适时根外追肥是非常重要的。所以，适时、适量与按比例（如N:P比）的通过根外追肥调节酶活动的方向性，是提高作物产量与品质的重要环节。

#### 四、根外营养的应用

“认识从实践始，经过实践得到理论的论识，还须再回到实践去”。劳动人民从实践中认识到根外追肥的良好效果，经过思维达到理性认识，还需再回到实践去，在生产上发挥其应有的作用。

根外追肥是补充根部追肥的一种辅助性方法，它不能代替根部追肥。但是当作物根吸收养分受到限制，土壤溶液浓度过高，而必须满足某种养分的条件（如盐碱土）下；作物受到自然灾害要求迅速补充营养时；某些养分在土壤中固定强烈（如铁、磷等）而用量又不多（如B、Mn、Cu、Zn、Mo等）时；作物某一时期有特殊营养要求，而根营养不能满足时；以及作物后期根吸收能力降低，但对某些养分需要又比较迫切时；只有在上述情况下，根外追肥才具有特殊优异的作用。这时，根外追肥及时满足作物特殊营养要求，对保证作物优质高产具有特别重要的意义。

必须指出，根系正常不间断地大量吸收养分以供作物需要是最基本的。而根外追肥不仅不易使营养物质在根内进行特殊转化，而且用肥量少且费工麻烦，不能解决大量养分需要等等。所以根营养是基本的，根外营养是辅助性的，两者应密切配合，互相促进和补充，而不应对立起来或互相代替。至于具体根外追肥技术，我们将在施肥法中加以论述。

### 第五节 作物营养与施肥

毛主席教导我们：“事物内部的这种矛盾性是事物发展的根本原因，一事物和他事物的互相联系和互相影响则是事物发

展的第二位的死因”。作物营养是作物新陈代谢中一系列生物化学反应，它与环境条件是互相联系着也是互相影响着。施肥是改善作物营养条件，通过内部生物化学反应，生产优质高产的农产品的主要手段之一。

### 一、不同作物营养特点与施肥

不同作物栽培在同一种土壤上，或相同的营养条件下，所含营养成分和数量有很大差异。一般草本比木本植物吸收养分多，同属草本植物，薯类与糖用甜菜需较多的钾；豆类则吸收钙和磷能力较强；小麦、玉米等各类需氮磷较多；葱蒜等需硫较多等等。对不同农作物必须通过施肥来调节各种养分供应水平和比例，以满足其特殊要求。同一作物不同品种对营养要求也是不同的，同样施肥水平，耐肥品种能获得丰产，不耐肥品种可能减产。这些特点施肥时都必须认真考虑。

同一作物不同器官营养物质含量也是有差异的。依栽培目的获得最有经济价值的部分，以各类作物为例，其营养成分一般含量变化如下：

种子中： $N > P_2O_5 > K_2O > MgO > CaO$  等等。

茎叶中： $SiO_2 > K_2O > N > CaO > P_2O_5 > MgO$  等等。

上述特点有利于我们栽培作物时，获得最经济部分的参考。例如，要收获籽实则应重视氮磷肥密切配合，并应考虑钾、镁供应；如要获得茎秆，则应重视氮钾肥配合，适当注意钙磷供应。但应注意作物体内营养物质变化受作物内在与外在环境条件的影响，不是固定不变的。上述原则只能作一般施肥的参考，不能作为唯一依据。

应强调指出，认识客观规律目的在于发挥人的主观能动作用，使其尽量符合人们的需要。例如，食用玉米目的是多收籽粒，除氮、钾肥满足外，必须磷肥充足；而青贮饲料玉米就多施氮钾肥，尤应多施氮肥。食用和饲用大麦应多施氮磷肥；

而酿酒用大姜必须重视磷钾肥，适当控制氮肥，以免含氮化合物过多，影响酿酒或降低品质。

## 二、作物营养期与施肥

作物“生长期”是“从种子到种子”。而幼苗出土后开始从土壤中吸收养分到行止吸收养分为止，这段时期称作物“营养期”。所以“生长期”与“营养期”并不相同但有密切关系。营养期内所需养分主要通过土壤可给态养分和施基肥来满足。

作物营养期内各个时期对养分要求并不均衡，而施肥效果也不一样。其中有两个关键时期就是“营养临界期”和“最高效率期”。

幼苗出土初期内主要靠种子贮存的养分，当种子内养分基本耗尽就要靠土壤供给养分了。一般作物生长初期对养分敏感性较强，其中某一段如养料不足或过多或比例失调，就会显著影响生长和以后产量，即使以后再调节也难以挽救所造成的严重危害，这段时期称为“营养临界期”。此期养分供应极为重要。因此，肥力较差的土壤施用头号优质种肥或早期追肥，效果极为显著。

“营养临界期”以后，随着作物的生长，对各种养分需求效率愈来愈多。其中某个时期吸收某种养分最多，而且，这些养分也都构成最有经济效益的部分，施肥所获得的增产效果最大，一般称这个时期为“最高效率期”。作物生育期追肥，主要应该在最高效率期来进行。但最高效率期过后，作物对养分需要效率就逐渐降低，以至某些养分在作物生育后期还有外渗现象。因此，追肥过迟效果常不是很大的。

不同作物的“营养期”、“营养临界期”和“最高效率期”出现时期各不相同。各种营养元素在同一作物上出现的营养关键时期也不相同。一般磷出现最早，氮次之，钾较晚。因此，施肥时必须结合各种作物营养特性，决不能千篇一律的教条的

进行。

但是作物生长期的生长中心和它的营养特点并不是孤立不变的，而是既有连续性也有阶段性。因此除上述两个关键时期必须施肥外，其他营养期间也应根据作物营养特点和相关的条件进行施肥。所有作物体内代谢过程、环境条件与作物营养和施肥都是互相促进，互相制约，互相联系的辩证的统一过程，施肥时必须全面地考虑。

三、环境条件对养分吸收有多方面的作用，但也是通过对作物内部代谢的影响而起作用。

(一) 通气状况：作物合理的田面结构，良好的通风透光有利于养分的吸收。而营养成分比例和水平的调节，也有利于创造良好的田面结构。土壤通气状况影响作物根呼吸与养分的有效性。通气不良根际区CO<sub>2</sub>累积和O<sub>2</sub>不足，抑制根呼吸和好气微生物活动，还原态物质相对累积，对作物营养不利或危害。而且根周围H<sup>+</sup>与HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>相对提高，就会抑制根对阴、阳离子的交换吸收。所以，通过耕翻、松土、深排水分、定期晒田等调节土壤通气状况，对改善作物营养状况都是有利的。

(二) 温度：在一定温度范围内（如水稻与大麦在30°C范围内），作物对养分的吸收，随温度的升高而增加。

表1-2 温度对水稻吸收养分的影响

温度 \ 养分	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	K	Mg	Ca	H <sub>2</sub> O
30°C	100	100	100	100	100	100	100
16°C	55.9	71.1	68.3	78.9	88.8	115.4	66.7

温度下降抑制最大的是钾、磷酸和硝酸，而Ca、Mg所受影响不大。温度下降时，各养分吸收程度依作物和养分种类而异。一方面因为温度影响作物呼吸与体内生理活性；另一方面温度也影响土壤微生物活动与养分的有效性。因此，中耕松土、放水晒

田、施用热性肥等都能提高地温增加养分的吸收利用。1964年6月间国营芦台农场万亩水稻叶子忽然发黄。经调查6月上旬曾有一次寒流降低地温，影响养分吸收。经放水晒田提高地温后，水稻即恢复正常生长。低温下养分有效性降低，作物吸收能力较差，除提高地温外，适当施用速效养分提高养分供应水平也是必要的。此外，多施厩肥和灰肥，充分满足磷、钾供应对保温和抗寒也是有利的。早春追肥对小麦更是不可少的。

(三) 环境反应：土壤酸硷反应对养分的有效性、阴、阳离子的吸收、肥料种类选择、肥料配合等都是很重要的。同时施肥也能影响土壤反应。因此，土壤反应的调节，酸土与硷土改良等对作物营养和施肥都有密切的关系。

(四) 光照：光照对养分吸收影响主要是间接的。因为光照强度与时间影响光合产物的累积，从而影响到物质代谢，使营养物质及时转化成相应的有机化合物，使营养物质达到经济利用，并继续不断地促进养分吸收。同时，光合产物输送至根，加速根系发育与根细胞生理活性，促进养分的吸收利用。

表1-3 光照对养分吸收的影响(水稻)

养分 光度指数	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	MnO	SiO <sub>2</sub>
100	100	100	100	100	100	100	100
58	82.5	76.3	77.8	106.9	103.0	85.1	95.3
26	40.4	33.0	41.0	63.9	68.2	46.3	65.1
5	16.5	14.8	13.0	48.5	40.2	22.2	34.9

从表1-3看出：氮、磷、钾等吸收与根呼吸有密切关系的成分，最易受光照的影响。而钙、镁等受影响较小。可能因为光照弱时碳水化合物产量减少，引起呼吸能量不足，显著减少与呼吸密切相关的养分吸收。同时，光照愈强蒸腾作用愈强，从而养分的吸收也相应增加。

(五)水分：维持土壤适宜湿度，对改善作物营养状况和提高肥料效率方面起重要作用。土壤适宜含水量，一方面维持作物正常生长所必需的；另一方面，水分也是养分生物化学转化、溶解、移动和吸收利用的必要条件。因此，调节土壤水分和施肥密切配合是经济而有效的措施。1960~1961年我们应用含 $P^{32}$ 的磷酸盐所进行的试验看出：冬小麦拔节期当土壤湿度为田间持水量60-65%，孕穗期65-70%，抽穗开花期和乳熟期70-75%时，小麦从土壤中吸收的磷最多。群众从生产中也充分证明施肥与灌溉密切配合是丰产的重要保证。文水开柵小麦丰产经验要求早春“早追肥、早浇水”，“幼苗不喝空肚水”，“吃饱喝足，防止倒伏”。有的地方还有“上粪不浇水，庄稼撅着咀”的说法。可见施肥与浇水是密切相关不可分割的。

合理施肥不仅能提高肥料效果，而且可以经济地利用土壤水分，使积累每单位干物质的耗水量大大减少，降低作物需水量，以达到经济的用水。同时，干旱区深施肥还可提高作物的抗旱性。

但是土壤水分不足时，当大量施用无机肥后，使土壤溶液浓度骤然增加，造成作物吸水困难。施肥太多时还能中和根细胞表面电性，引起根细胞原生质胶体变性，严重时还能使作物死亡（即群众说“烧死”）。为了防止此有害作用，有机—无机肥料配合或混合施用，适当控制施肥量，改善施肥技术、调节土壤水分，都很有重要的作用。

“在本质中一切都是相对的”。适当土壤水分对作物营养与施肥是有利的，但过多的水分尤其淹水情况下，不仅作物正常生长受到干扰，以至死亡，而且作物吸收养分也要受到强烈抑制。因此，排水晒田，土壤有干有湿、中耕松土等等对作物营养都是有利的。

“一切客观事物本来是互相联系和具有内部规律的”，因



此施肥必须联系作物内在的营养规律和互相影响的环境条件，只有这样才能经济而有效的施用肥料。

伟大领袖毛主席教导我们：“自然科学是人们争取自由的一种武装。-----人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由”。为了有效地施肥，获得作物高额丰产，为我国社会主义农业建设作出贡献，必须运用自然科学了解作物对养分需要规律，营养物质吸收的机理和运转途径，以及互相联系和互相影响的内外在条件，并进一步利用和控制这些规律，以达到经济用肥，提高作物产量和改善品质的目的。也为我们以后进一步学习农业化学打下稳固的基础。

## 第二章 氮素营养与氮肥

伟大领袖毛主席教导我们：“一切真知都是从直接经验发源的”。群众通过实践总结云“缺肥苗发黄，地瘦不打粮”的经验，“缺肥”与“地瘦”主要是指氮肥不足。

### 第一节 氮素营养

#### 一、作物缺氮与氮素过多时症状：

我们在田间经常会发现以下三种情况：

(一) 作物长得清秀健壮，绿茵茵的一片，说明氮素供应是充足的。

(二) 远看作物黄绿色或黄黄一片，近看植株矮小瘦弱，叶片小而发黄，下部叶先发黄干枯，上部叶呈浅绿色，黄枯叶从下至上逐渐蔓延。扒开土壤水分是充足的，说明氮素不足。各作物缺氮症状除共性外，各有其特殊性。

1. 谷类作物缺氮症状：小麦、大麦、莜麦等缺氮症状极为相似。植株细长直立，叶片呈黄绿至黄色，茎基部呈淡紫色。第一叶片较其它叶长，叶枯黄从尖端向基部蔓延。小麦分蘖少产量低品质坏。玉米缺氮幼苗生长缓慢、茎细长产生淡黄色叶斑。叶片黄化沿中脉从叶尖端到叶片基部形成楔形（V形），但叶边缘仍保持淡绿色，并可能稍卷曲。下部叶片先出现症状，干枯叶呈“灼烧状”。高粱缺氮出现类似症状。

2. 马铃薯缺氮生长缓慢，植株淡绿至黄绿色，下部叶边缘呈白——黄色，叶簇脱落，薯块小品质坏。

3. 棉花缺氮叶簇淡黄色，老叶最明显，严重缺氮叶干枯脱落，铃瘦小而失长。

4. 豆科缺氮叶淡绿至具有黄色阴影。往后，叶片呈明显的黄色，褪绿病均匀地扩展整个叶片，最初出现在基部叶片。

很快扩展到上部叶片。

5. 番茄缺氮最初生长停滞，失绿先从顶端幼叶夫开始，叶脉由黄绿变深紫，叶背面更明显。茎变硬富纤维并现深紫色。果实小富木质素。

6. 苹果缺氮生长缓慢，幼树基部叶片受害不久即在嫩枝顶端出现黄色叶斑，新生叶片小。嫩枝僵硬富木质，呈红色或褐色，严重缺氮果实瘦小，并提早成熟或脱落。细根少生长缓慢。

(三) 对氮素营养也依“一分为二”，如氮不均衡地过多时，茎叶肥嫩多汁，茎软弱易倒伏，抗病、抗旱、抗寒性降低，成熟延迟。小麦易倒伏，无效分蘖增加，玉米折断率提高，棉花棉花易狂长等。

氮素充足、缺乏或过多都是相对的。因为“客观事物中矛盾着的诸方面的统一或同一性，本来不是死的、凝固的，而是生动的、有条件的、可变动的、暂时的、相对的东西，一切矛盾都依一定条件向它们的反面转化着”。例如，低于条件下氮素充足或过多，在丰产时可能变为缺乏。因此，氮素充足、缺乏或过多不能当作不变的教条，而应依作物要求、产量水平、各种营养元素配合、农业技术条件等综合考虑。而且还应把缺氮症和病虫害、干旱、高温、冻害等严格区别开来，以免作出错误的判断。

## 二. 氮素代谢及其作用

“理性认识依赖于感性认识，感性认识有待于发展到理性认识”。只有对氮素丰缺的感性认识，提高到氮素代谢的理性认识，才能为合理施用氮肥提出理论依据。

(一) 作物体内含氮化合物及其作用：

氮的首要作用是因为氮是蛋白质的主要成分。氮约占蛋白质重量的16-18%，蛋白质是细胞原生质的主要组成部分，即

任何生命活动的基础。恩格斯说：“生命是蛋白体的存在形式，这个存在方式的基本因素在于和它周围的外部自然界的不断的新陈代谢，而且这种代谢过程一停止，生命就随之停止，结果便是蛋白质的分解”。可见，没有氮就没有蛋白质，也就没有生命。

氮是叶绿素重要组成部分。蛋白质与叶绿体有密切关系，执行光合作用合成各种有机物的重要机能。缺氮叶绿素就不能形成，叶片失绿而黄色色素如胡萝卜素和叶黄素就显现出来，使叶片变为浅绿或黄色。光合作用受到强烈抑制，生命活动的物质基础就受到破坏，生长受到阻碍，植株矮小。

氮是作物体内各种酶的组成成分。缺氮酶就不能形成，新陈代谢就停止，生命也就无法维持。此外，许多维生素、核酸、磷脂、生物碱、醌萜类、生长素、抗生素等重要化合物中都含氮素。说明氮对作物生命活动有多方面的作用。

## 二、氮素供应与氮素代谢：

1、氮素充足就增加作物体内蛋白质累积，活跃代谢，提高产量和改善品质。使小麦籽粒饱满，蛋白质增加而淀粉相对减少，籽粒由粉质向玻璃质转化。并能促进营养体生长，加强光合产物的累积，对各种农作物产量提高和品质改善都是有利的。

2、氮素不足，除降低蛋白质含量外，叶绿素含量也降低，使叶片由黄绿变为黄色以至红色，叶小或干枯光合作用强度显著降低。不仅蛋白质形成受阻，醌萜含量也降低，生长迟缓，最后导致产量下降甚至干枯死亡。

3、氮素过多，而磷、钾等养分不能相应增加时，作物体内醌萜转化成蛋白质和其它含氮物，醌萜含量相对降低，使马铃薯、甘薯和甜菜产量与品质都下降。而且醌可用于构成细胞壁的原料——纤维素和果胶都相应减少，限制细胞壁加厚使茎叶衰老减缓，营养器官长期停留在幼嫩状态，贪青晚熟。组织柔

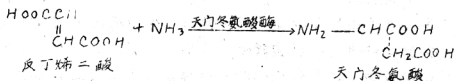
嫩多汁，对叶用蔬菜可能冲进食用品质，但不耐贮藏，而对一般作物则因组织软弱，降低对不良环境的抵抗力，易受病虫害侵袭和冻害等。同时，厚壁机械组织形成受到抑制，作物机械支持力就会降低。加之营养体徒长，柔软的茎秆即不能支持，造成倒伏减产。

应该注意上述情况的产生，不仅决定于氮素营养水平，也和磷、钾、钙、镁等养分供应，生育期、光合作用、物质代谢、气候农业技术条件等密切相关。关键就在于具体地分析具体情况，对当时当地的内在外在条件，相互联系辩证地综合分析研究，才能提出创造性的建议。

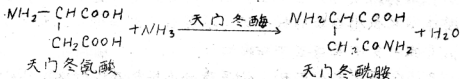
### (三) 作物对氮素的吸收和利用：

作物主要吸收<sup>\*</sup>氨态和硝酸态氮素。同时，也能吸收尿素和部分可溶性含氮物如氨基酸、酰胺和尿酸等。

1. 氨态氮的利用：作物直接吸收氨态氮并合成含氮有机物。氨和作物呼吸产生的有机酸（如丙酮酸、草酰乙酸、反丁烯二酸、α-酮戊二酸等）形成相应的氨基酸。

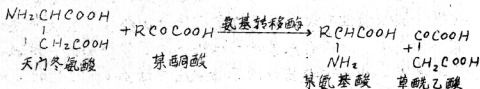


如作物代谢产生氨或从土壤中吸收较多的氨时，二羧氨基酸就和游离氨结合形成酰胺。

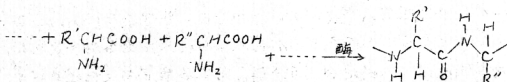


各种酰胺形成需要磷酸酶和  $\text{Mg}^{2+}$  促进反应。酰胺在作物体内可累积，是解除氨毒害和对备氮的重要形式。一般游离氨不能在作物体内累积，因为游离氨可改变蛋白质带电性，使细胞原生质发生毒害，影响正常的生理活动。上述氨基酸或酰胺再

经氨基转移形成其它氨基酸。

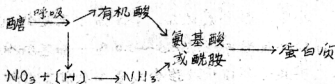


各种氨基酸在特殊酶(如核糖核蛋白)作用下,形成蛋白质。



蛋白质强烈地自我更新,有人试验,蛋白质的半更新期介于36-50小时之间。愈幼嫩器官更新速度愈强烈。

2. 硝态氮的利用:氮是合成含氮有机物最初物质。而硝态氮被作物吸收并在体内还原成氨后,才能同化为氨基酸及蛋白质。硝态氮还原成氨的详细过程还不很清楚,但硝态氮的吸收、还原和利用与作物呼吸过程是密切相关的。



上述过程相当复杂,许多酶如磷酸酶、氨基蛋白酶及许多金属离子Mo、Cu、Fe、Mg等均参与作用。因此,硝态氮营养和这些元素营养密切相关。

从以上论述看出,作物利用于合成的是氨而不是硝态氮,硝态氮必需还原为氨后才能利用,从能量观其上看硝态氮不如氨态氮,但硝态氮的优点是能在作物体内累积而不受毒害。

3. 尿素的利用:尿素能被根和叶面直接吸收,但如何被同化还不清楚。一般认为尿素吸收后,在体内尿酶作用下形成氨而利用,但番茄、黄瓜、马铃薯、水稻和麦类等体内难以析

足尿素酶，而仍能很好地利用尿素。尿素利用和硝态氮不同，对根呼吸依赖性不大。尿素浓度愈大吸收愈多，但吸收过量不能全部同化，以尿素态累积在作物体内。累积超过一定数量时产生危害。如小麦幼苗体内尿素浓度超过500 PPM时，叶尖就黄化褪色，终于枯死。

### 三、个体发育与氮素代谢：

作物各器官氮素代谢各不相同，同一器官氮素代谢的趋势和能力因发育年龄而异。活体内以蛋白质为主的各种含氮物代谢相当活跃，不断地合成与分解。而且各器官间互相经常对氮保持一定的竞争关系。因为随着作物生长发育，不断形成新的器官和组织，氮素则经常进行复杂的转化和转移过程。

(一) 各器官的氮素特性：氮素在作物体内分佈和蛋白质、叶绿素、叶蛋白等含量变化非常一致的。一般作物含氮量约为干物重的0.3—5%。细胞原生质主要由蛋白质组成，含氮量最高。如甘蓝细胞原生质中，蛋白质占原生质干重的63.1%，折合含氮10—11%。小麦籽粒含氮达2.0—2.5%，而茎秆则含0.5%。豆科作物籽粒含氮量可高达4.5—5.0%，而茎秆仅含1.0—1.4%。叶片尤其是光合作用较强合成蛋白质较多的幼嫩叶中含氮最高，而叶鞘、茎和根全氮含量较低，蛋白质在这些部位所占的比例也较低。

供应氮肥时，外时间叶片受影响较小，而叶柄、叶鞘、茎则受影响很大，变化也较急，这些部位水溶态氮所占的比重也较大。比较敏感地反映出氮素供应过量、充足或不足，其水溶态氮主要呈硝态氮和酰胺态氮而暂时贮藏，以供作物对氮的需要。因此，常应用叶柄、叶鞘和茎作为植物组织汁液测定，结合作物外部特征和环境条件来判断施用氮肥的必要性。同一作物不同部位含氮量变化是相当大的，以棉花、水稻来说明：

表2-1 棉花不同部位含氮量

部 位	含 氮 量 (%)
茎	1.6
纤维	0.3
叶片	3.2
棉铃	2.5
种子	3.0

表2-2 水稻各器官含氮量 7.20 采样

部 位 \ 施 肥 量	低 氮 肥		中 氮 肥		高 氮 肥	
	全 N %	水 溶 氮 占 蛋 白 氮 %	全 N %	水 溶 氮 占 蛋 白 氮 %	全 N %	水 溶 氮 占 蛋 白 氮 %
叶片	2.497	10	3.251	10	4.387	11
叶鞘	0.958	13	1.322	19	2.097	28
根	1.066	13	1.443	15	1.930	20

## (二) 各器官氮素的动态:

作物各器官中氮素依作物生育经常发生变化, 在营养生育期吸收和积累的氮素都较多, 但各器官间氮素移动较少。到营养生长末期, 重点转为生殖生长时, 氮素移动就强烈进行。含氮物水解成可流动态, 不断从营养器官(茎、叶)向生殖器官(种子、果实等)或贮藏器官(块茎、块根等)转移。到成熟期大约 70% 的氮素都转移到生殖和贮藏器官中去。

作物生育早期氮素主要集中在上部幼嫩的茎叶和节位。当氮供应充足时, 新吸收的氮素主要输送到幼嫩部位; 当氮供应不足时, 幼嫩部位则从下部较老的茎叶中夺取氮素, 以满足其生育需要。所以, 缺氮时较老部位首先出现症状, 以后才逐渐向幼嫩部位扩展。



了解作物体内氮素动态对提高氮肥效果极为重要。一般在作物早期和营养生长盛期充足氮肥供应，为氮素反复再利用和后期作物产量提高与品质改善创造了极为有利的条件，以免后期氮素供应不及时造成减产。但不同作物则是有差异的。这些问题将在氮肥施用中进一步探讨。

## 第二节 土壤中氮的形态及其转化

### 一. 土壤中氮的含率与形态

土壤中氮素含率一般随有机质含率的增加而增加。

表2-3 我省几种主要耕层土壤有机质和氮素含率

土壤项目	大同施家会 砂壤	太原院农 轻壤	长治市西郊 中粘壤	晋城刘家川 重粘壤(红土)	万荣通化村 轻粘壤	运城高家园 中粘壤
有机质(%)	0.87	1.07	1.74	0.81	0.73	0.90
全氮率(%)	0.068	0.093	0.139	0.107	0.086	0.092
C/N 比	7.4	6.7	7.3	4.8	5.1	5.8

有机质和氮素含率，常随土壤深度增加而减少。我国除东北内蒙、青海的黑土外，一般土壤有机质和氮素含率都较低。华北土壤有机质一般为0.5~1.5%，除城市郊区、高额丰产田、菜园地、丰产队的海绵地外，一般很少有超过2-3%的。含氮率一般在0.05-0.10%之间，很少有超过0.15%的。我省土壤据测定基本和华北土壤一致。因此，有机质和氮素不足，是当前保证作物丰产施肥上的主要矛盾。这也说明增施有机肥和氮肥能显著增产的重要原因。

土壤中氮素形态主要有以下三类：

(一) 矿物质含氮化合物：主要是铵盐和硝酸盐，有时也有极少量亚硝酸盐。此类化合物在土壤中含率极少，常不到全氮率的1%。但却是作物直接吸收的主要形态，对作物氮素营养

极为重要。田间土壤速测的氮就是这类化合物。

(二) 含氮有机物：主要是氨基酸、酰胺、蛋白质、腐殖质等。一般氨基酸与酰胺多溶于水，很易矿物质化，是矿质含氮物的主要来源。另外还有一类容易被弱酸或弱碱水解的含氮化合物，如简单的蛋白质类很易矿物质化，在一定时间内对作物也是比较有效的。土壤水解氮就是包括以上各类含氮化合物。因此，用水解氮测定结果来判断土壤氮素供应状况，在生产上具有重要的意义。最后还有一类补期不易矿物质化非常稳定的含氮化合物，主要是腐殖质、复杂的蛋白质以及某些复杂的缩合物。

(三) 分子态氮：这种氮一般不能被作物直接吸收利用。只有通过根瘤菌、自生固氮菌以及某些真菌和藻类经过生物固氮作用，形成含氮化合物；大气中氮素或经工业固氮制成各种无机氮肥；或经光化学和电化学反应把分子态氮转化成氧化氮随雨雪降落在土壤里，才能被作物吸收利用。

## 二. 土壤中含氮化合物的转化和移动

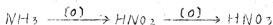
上述几种含氮物在土壤中经常处于动态变化过程中。

(一) 含氮有机物的矿物质化：土壤中氮素主要呈作物不能直接利用的有机状态。但条件适宜时，能逐渐转化为作物可利用的无机盐。一般含氮有机物较多，矿质化较强的土壤，对作物供氮能力就较强。现以蛋白质来说明矿物质化过程。

蛋白质在微生物分泌的蛋白酶作用下，逐渐水解成各种氨基酸，氨基酸在氧化细菌所分泌的脱氨基酶的作用下，氮即分离出来。此过程只要温、湿度适宜，无论嫌气或好气条件都能发生，而且参与的微生物也是多种多样的。形成的氨和有机质分解时形成的有机酸及无机酸化合形成相应的盐类。这些盐的铵离子与土壤胶体进行代换反应而被吸附，降低氮的流动性并减少流失，但仍能被作物和微生物吸收利用。在嫌气条件下，

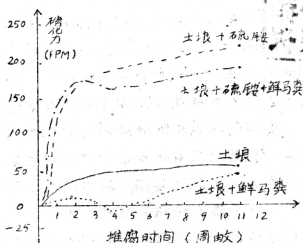
有机质分解到氨就打止了。但在一般土壤上不会绝对嫌气，因此氨还要进一步转化。

在通气良好，温度（25~30°C）、湿度（毛管持水率的60%）和环境反应（中性至微碱性）适宜以及氮和钙充足的条件下，氨就进一步经过亚硝酸细菌和硝化细菌作用氧化成硝酸，并与盐基反应形成硝酸盐。所有矿物质化过程就全部结束了。



早春地温较低，微生物不活跃有机质分解缓慢，硝化过程也较弱。因此，早春追施氨肥或春耕时用少量氨肥作种肥对作物氮素营养是有利的。以后随地温升高，氨化与硝化作用逐渐加速，到夏季达最高峰，以后就逐渐减缓了。土壤氨化与硝化过程的强弱，代表土壤有机质分解转化成作物可利用态氮的能力。而氨在土壤中不稳定属中间产物，还常常经硝化转变为最后产物硝酸。所以，判断土壤供氮能力时，常应用土壤硝化力的测定。经我们测定，我院农场土壤硝化力如着2-1。

从着2-1看出，适宜条件下，我省石灰性土壤硝化作用是较快的。但由于土壤有机态氮不足，因此土壤本身的硝化力较低，供氮能力较差。仅靠土壤满足作物丰产所需的氮素是不行的。因土壤硝化力较快，硫酸施入土壤二



着2-1. 太原石灰性土壤的硝化力  
(山西农学院 1964年)

周后转化率\*<sup>①</sup>即达40%，十一周后达52%。说明氨态氮肥施入土壤后，约一半左右很快转变为硝酸盐。但加入C/N比相当大(38)的新鲜马粪，最初几周不仅不能释放出氨素，反使土壤有效态氮下降。这对作物早期氮素营养是很不利的。我省运城地区经我们田间测定(1959年)，即使春季施入硫酸十多天后，也有明显的硝化作用。

含氮有机物氨化过程对作物氮素营养是有利的，硝化作用在作物生长期也是有利的。但在多雨季节的休闲地上是不利的，因易造成氮素流失。当气候干旱蒸发量过大时，硝态氮随水分上升累积在土壤表层，降低作物根际层有效氮的含量。所以，硝化作用快并不一定都是好现象。因此，为了不妨碍氨化过程而又能抑制硝化过程，有人建议在硝化作用强的土壤上，氨态氮肥作成粒状，或加入适当的石灰氮，能提高氨态氮肥肥效。此外，加深耕层也能降低表层硝态氮累积，提高根层硝态氮含量。

上述含氮有机物矿物质化过程总结如下：

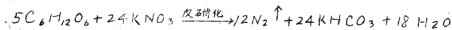
动植物残体(如蛋白质类)  $\xrightarrow{\text{微生物分泌的蛋白酶}}$  氨基酸  
 $\xrightarrow{\text{氨化细菌分泌的脱氨基酶}}$  氨  $\xrightarrow{\text{经亚硝酸细菌}}$  亚硝酸盐  $\xrightarrow{\text{经硝化细菌}}$  硝酸盐

(二) 有效氮的无效化过程：

1. 反硝化作用。当土壤通气不良、砂性、硝酸盐充足以及碳水化合物(如纤维素)丰富时，由于反硝化细菌作用，就把亚硝酸与硝酸还原为作物不能利用的氮气而挥发。

\*<sup>①</sup> 硝化力：堆腐时间内，土壤或肥料中氮素转化成硝态氮的数。

\*<sup>②</sup> 转化率：施入土壤的氮肥或有机肥料中氮素在一定时间内转化为硝酸态氮的百分数。



在一般土壤条件下，此过程非常微弱。而在长期淹水的稻田，此过程就不可忽视。稻田土壤一般分为氧化层（最表层0.5—1.0厘米）和还原层；如施硝态氮肥时，硝态氮随水移到还原层；或表施氨态氮肥在氧化层氧化成硝态氮，随水移至还原层后，就可能引起反硝化造成氮素损失。因此，稻田施氨态氮肥必须深施于还原层里，而硝态氮肥则不宜作稻田基肥。

2. 有效氮的生物固定：当土壤中未分解的有机物（如C/N比大的纤维素或其他碳水化合物）很多，灰分养分充足和环境条件适宜时，微生物就大显身手，强烈吸收土壤有效氮素合成自身躯体。苗2-1试验所示，加入碳氮比为38的新鲜马粪，初期不仅不能释放有效氮素，反而从土壤中消耗有效氮素，使硝化力变为负值。这对矿质化过程强烈的休闲地，雨水过多有流失危险时才是有利的，而在作物生长期间是不利的。因此，在播种前不久或作为种肥施用未腐熟的有机肥料，由于微生物掠夺了对作物有效的氮素，使苗期发生严重缺氮现象。因此，作为基肥特别是作为种肥施用的有机肥料，必须充分腐熟，以免这种有害作用的发生。不过这种生物固定是暂时的，当微生物死亡后，经过分解又重新变为作物可利用的氮素。这和反硝化截然不同。

### 第三节 氮肥及其施用

#### 一. 氮肥生产概况及发展途径

解放前由于国民党的反动统治和帝国主义掠夺，使仅有的两个规模不大的氮肥厂也奄奄一息，产量一直很低。

解放后，在伟大领袖毛主席和党的英明领导下，已初步建立起强大的氮肥工业。许多大中小型氮肥厂象雨后春笋一样，都迅速建立起来。通过文化大革命，彻底批判了叛徒、内奸、

工贼刘少奇“贪大求洋”、“洋奴哲学”等黑货后，遵照“自力更生”、“艰苦奋斗”、“打破洋框框，走自己工业发展道路”的教导，贯彻“大中小相结合”、“土洋并举”一系列两条腿走路的方针，充分发挥地方工业潜力，除国家统一建立大的氮肥工业基地外，各地均兴建了许多中小型氮肥厂。真是大中型厂星罗棋布，小型厂遍地开花，群众性大造土化肥蓬勃发展的氮肥产量蒸蒸日上。

我省和全国一样，除早已建成大型太原氮肥厂外，按省委决议，已兴建了一大批中小型氮肥厂，要求3—5年内每亩地供应五十斤化肥。1971年底已建成投产的中小型氮肥厂52个，总产量达12万吨，要求1972年达53万吨。

在党中央和毛主席英明领导下，我国氮肥工业已进入一个崭新的时代，为加速农业化学化，实现社会主义农业改造具有十分重要的意义，这是毛泽东思想的伟大胜利，毛主席革命路线的伟大胜利。

氮肥生产是我国肥料工业的重点，氮肥占肥料总产量的60%以上。大型氮肥厂主要生产硝酸铵与硫酸铵，也生产尿素、氨水和石灰氮等；制碱工业生产氯化铵；炼焦工业生产硫酸铵和氨水；中小型氮肥厂除少数生产硝酸铵外，主要生产碳酸氢铵和少量氨水与液体碳酸氢铵等。我国发展前途最大的氮肥有：硝酸铵、碳酸氢铵、尿素、液体氮肥、氯化铵等。硫酸铵因需大量硫酸发展受到限制。将来复合氮肥、持久氮肥、高浓度的液体氮肥等新品种也是有发展前途的。

氮肥对农业发展有重大作用。据全国肥料试验网资料，每斤氮可增产稻谷15—20斤，小麦10斤，玉米20斤，籽棉10斤。一个年产合成氨800吨的小氮肥厂，每年生产的氮肥就能增产1800万斤粮食。我国农业生产实践证明，在施用有机肥料基础上配合氮肥，更能提高有机肥料效果。因此生产和施

用氮肥，对发展我国农业生产极为重要。

## 二. 氮肥的种类、性质和施用。

毛主席教导我们：“不论做什么事，不懂得那件事的情形，它的性质，它和它以外的事情的关联，就不知道那件事的规律，就不知道如何去做，就不能做好那件事”。所以，要想施好化肥，必须知道它的性质，它和土壤、作物之间的关系。

(1) 氨态氮肥：主要包括硫酸铵、氯化铵、碳酸氢铵和氨水等。这类氮肥易溶于水肥效快，因含有铵( $\text{NH}_4^+$ )遇矽即产生氨气而挥发，使肥效降低以至丧失。施入土壤 $\text{NH}_4^+$ 被土壤胶体代换吸收而减少流失，故可作基肥但多用作追肥，有的还可作种肥。这类化肥之间的差异性，主要决定于和 $\text{NH}_4^+$ 结合的阴离子的特性。

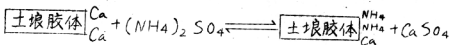
### 硫酸铵 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

硫酸铵简称“硫酸”俗称“肥田粉”。是我国最早应用和生产的氮肥，目前仍广泛应用。

(一) 性质：纯硫酸为白色结晶。肥料用的有白色、或浅黄色，含氮20—21%，游离酸不大于0.3%含氰化物极微。含水分和游离酸多时易吸水结块并腐蚀包装，当温度高、湿度大时易吸湿潮解。但一般情况下，吸湿结块性小，有良好的分散性。易溶于水呈酸性反应，遇矽氨挥发肥效损失。

炼焦副产品硫酸品质纯度较差，因含杂质呈灰色、绿色、红色等杂色，常含有硫氰化盐，易对作物毒害不宜用作种肥。

(二) 硫酸的施用：硫酸施入土壤能被作物吸收，并立即和土壤胶体发生代换反应。



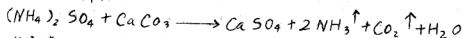
“每一事物的运动都和它周围其它事物互相联系着互相影响着”。上述代换反应和施用有密切的关系。

1. 当  $\text{NH}_4^+$  处于吸附态时, 施用后不易产生浓度过高的危害, 由于反应很快, 施用后立即降雨, 在质地细的粘土上多施些也不会流失, 并能提高效果。因此硫酸铵在雨前或趁雨追施或结合灌溉施用。由于不易流失故作基肥、种肥和追肥均可。但在砂性土壤上施用时, 为防止流失和浓度过高的危害, 就应采取“少量多次”的施肥原则。

因为  $\text{NH}_4^+$  易被土壤胶体吸附, 故移动性较小, 应深施到作物根际层, 这对旱地尤为重要, 应采用耩施、条施或穴施。但在砂性土或灌溉条件下也可浅施, 水浇地还采用表施浇水, 使  $\text{NH}_4^+$  逐渐向根层移动。在我省土壤上施硫酸铵后硝化较快, 2—4 周即有一半转化为硝态氮, 移动性显著增加。硫酸铵一般应深施, 但应对具体情况作具体分析, “忌带主观性、片面性和表面性”。

2.  $\text{NH}_4^+$  被土壤胶体代换吸附, 逐渐引起  $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$  等流失, 尤其连年大量施用硫酸铵, 而又不施钙镁肥或有机肥料, 更易使  $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$  大量流失, 引起土壤胶体分散, 结耕破坏, 土壤板结。我们应该牢记毛主席提出的“化肥太多破坏土质, 还是以自然肥料为主”的伟大教导, 切不可片面地过分强调化肥施用而忽视自然肥料。不过在我省石灰性土壤条件下, 大量施用农家肥料的基础上施用化肥, 一般不会发生严重危害。如施用适当, 还可以进一步提高土壤肥力。

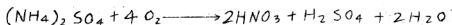
3. 当硫酸铵在强石灰性或砂性土壤上施用时, 还会引起氮的挥发, 肥效降低。



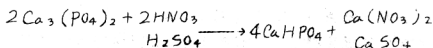
在这类土壤上施用硫酸铵时, 不应表施而应深施。我省一般土壤上述反应并不强烈, 但还是会有氮损失的, 因此, 最好深施, 如必须表施时, 施后应立即盖土或松土, 以减少氮损失提高肥效。



硫酸铵中  $\text{NH}_4^+$  被作物吸收的同时，释放出  $\text{H}^+$  离子和硫酸中的  $\text{SO}_4^{2-}$  结合形成硫酸，所以硫酸铵是生理酸性肥料。同时，施硫酸铵后如条件适宜，经硝化作用形成硝酸与硫酸的生物学酸度。



这两种酸对我省石灰性土壤不仅无害，而且还能适当降低硷性，有利作物生长。同时，这种酸还能提高养分尤其是磷的有效性。



但在酸性土上，除以上两种酸外，还能产生代换酸度，这些酸的危害就不应忽视。

据我省 1958 年试验，每斤硫酸铵可增产小麦 3—4 斤，玉米 4—7 斤，谷子 6—6.5 斤，籽棉 3 斤左右。硫酸铵施用方法应依当时当地条件灵活运用。根据我省情况，提出以下意见仅供参考。

**基肥：**如基肥腐熟较差，土壤速效氮较少，旱地种植生育期前的作物时，可在基肥中适当混入一些硫酸铵。如硫酸铵不足时，一般不作基肥用。

**种肥：**硫酸铵作种肥效果较好，但不能用含 CNS 物的硫酸铵。拌种必须干拌并随拌随用，一般以 5—7 斤/亩为宜。条播撒施也不宜超过 10 斤/亩。晋北以腐熟有机肥、硫酸铵和种子（小麦、莜麦等）混匀播种时，应随混随播至少应在混合后二小时内播完。硫酸铵与腐熟有机肥混合条施或穴施后再播种比较安全有效，用量还可超过 10 斤。总之，硫酸铵作种肥要求质好量少，以免发生缺苗断垄。

**追肥：**硫酸铵可结合降雨、灌溉追施，施后应松土或锄地。稻田追施前应放水，追后应搅地。一般田可采用条施、穴施或

耕施，旱地应深施盖土。用量少时可拌3—5倍细干土。追肥次数和用量依具体情况而定，目前一般大田可改忌10—30斤/亩/次。如丰产田或高产大队，有化肥时也可每次每亩追施30—50斤。

硫酸与磷肥、有机肥混合或配合施用可提高效果。切忌和矽性肥（草木灰、钙镁磷肥等）混施，如必须施矽性肥时应隔一段时间。

### 氯化铵 ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )

氯化铵为白色或淡黄色结晶，含N 25%，NaCl 0.6—1.0%，贮藏时不易吸水结块。氯化铵与土壤、作物相互关系和施肥要求与硫酸相似，主要差异是由于所含的阴离子 $\text{Cl}^-$ 与 $\text{SO}_4^{2-}$ 不同而引起的。

1. 氯化铵代换反应产生的 $\text{CaCl}_2$ 与 $\text{MgCl}_2$ 远比 $\text{CaSO}_4$ 与 $\text{MgSO}_4$ 溶解度大，引起Ca、Mg流失使土壤变坏远比硫酸严重。

2. 施氯化铵产生的氯化物溶解度大，易使土壤溶液浓度升高，加之 $\text{Cl}^-$ 对种子发芽和幼苗危害大，故不宜作种肥。旱地作基肥应早施，追肥应少量多次。旱地尤其盐硷地最好不要用氯化铵。

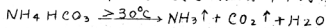
3. 氯化铵中 $\text{Cl}^-$ 抑制硝化作用。氯离子能降低烟草燃烧性并有臭味；降低薯类与甜菜的淀粉和籽含量；使葡萄皮厚、甜味差、酸味强。所以，这些作物最好不用氯化铵。

4. 氯化铵用于稻田常较硫酸好，因硫酸在长期淹水嫌气的稻田易产生 $\text{H}_2\text{S}$ ，使稻根腐烂减产。氯化铵则无比危害。因氯化铵为制矽和炼焦副产品并节省硫酸，有广阔发展前途。

### 碳酸氢铵 ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ )

简称碳铵，是中小型氮肥厂主要产品。碳铵为白色结晶，含N 17%，略带氨臭味，易溶于水呈矽性反应（pH 8.2—8.4），为矽性肥。常温干燥时基本稳定，高于30°C开始分解，温度

升高温度中加分解加剧。夏季潮湿条件下贮存易吸水分解。



碳铵的吸湿性、挥发性和对热不稳定性是贮运施用中重大缺点。贮运时必须包装严密、防热、防潮、防水，保持低温干燥，袋破必须扎好，开袋后一切用完，否则立速包紧。碳铵与硫酸施用的主要差别如下：

1. 碳铵很不稳定，表施更易引起氨挥发，更应深施盖土。无论作基肥或追肥都应深施到5—10厘米以下。

表2-4 碳铵施用深度对水稻的效果

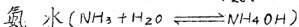
处 理	最高分蘖数	籽实产量/亩	籽实中产%
不 施 肥	8.8	385.7	—
硫 铵 浅 施	14.1	511.2	31.8
硫 铵 深 施	15.4	545.4	40.6
碳 铵 浅 施	12.8	476.0	27.7
碳 铵 深 施	15.3	566.0	45.7

碳铵浅施不如硫酸，深施显著优于硫酸，如浅施少量硫酸与深施碳铵相配合更为理想。碳铵撒施地表，不仅肥效显著降低，用量较大时还能灼烧茎叶。我省部分地区反映碳铵肥效差，个别产生烧苗现象，主要就是这个原因。此外，碳铵贮运施用，塑料袋破损，温湿度大，氨气损失，肥效降低，应引起注意。

2. 碳铵施入土壤后，引起局部暂时变干，影响种子发芽和幼苗生长，故不宜作种肥。既不能拌种也不能随种随施。如必须作种肥用量宜小，只能侧施或下施和种子间隔1—2寸土层。或与有机肥混合堆腐后施用。碳铵可作基肥，但最好与有机肥混施于播种层以下。追肥应深施并立即盖土，不能浅施或表施，更不能接触茎叶以免灼烧。随水追施时，应保持水面无

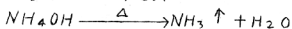
氨味，以后应及时松土。

3. 碳铵施入土壤，经1—2周后铵即被硝化为硝酸，使最初施入的局部变矸逐渐消失，甚至比原来土壤还有臭变酸。但变矸或变酸都很微弱，而且随著作物对氨态与硝态氮吸收，对土壤性质影响不大。此外，碳铵中的 $\text{HCO}_3^-$ 也可供作物碳素营养，有利于光合作用。因此碳铵实际上是无杂质的氮肥，适于各种土壤和作物。碳铵也可液施，用法同氨水。



液体氮肥包括液氨、氨络物和氨水。制法简便、成本低、肥效高。适于各种土壤和作物，宜作基肥和追肥。缺点是貯运和施用不便，宜就地生产使用。我国目前应用的液体氮肥主要是氨水。

(一) 性质：氨水是具有一定的腐蚀性和毒性的无色透明液体，炼焦副产品中含硫磺等杂质呈淡黄绿色，对作物有影响。一般含N 15—18%属矸性( $\text{PH}=11.2$ )，稀释200倍 $\text{PH}$ 值仍为10.1。常温下极不稳定，浓度愈大温度愈高，氨气压愈大。常温(22—24°C)露天放置二天，氨损失达90%，发生刺鼻氨臭，沸腾时 $\text{NH}_3$ 全部逸失。



(二) 貯运：氨水特性：挥发性、渗透性和腐蚀性。

1. 防止挥发：氨水通入 $\text{CO}_2$ 生成 $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ 溶液能降低挥发性60—90%；貯氨水容器表面复盖一层矿物油(如柴油)，用时将氨水虹吸导出，苗2—4寸深时，再把新氨水导入容器。貯运时应保持低温密闭防热防晒。最好貯于地窖或地下室内。

2. 防止渗漏：貯运容器必须严密无缝并经常检查，如闻有浓氨味，深入检查及时处理。

3. 防止腐蚀：选用耐蚀材料作容器。可采用水泥、石头、松木、橡皮、玻璃、瓷制、铁制等容器貯运。铁容器内壁可涂

红丹漆、石油沥青，木器可塗桐油等。也可用油槽火車或汽車运输。氨水对铜腐蚀性強，貯运使用勿接触铜器。

氨对人体眼、喉、肺等粘膜有強烈刺激性，避免氨水沾于皮肤或眼睛，久闻氨气易造成中毒事故。氨味大应通风，开桶即应用完，否则应速密闭。开桶要慢，先放气后再掀盖，以免氨水突丝喷出造成事故。

(三)施用：氨水施用必须注意：转入施肥机械（如氨水耨和穴施器等）和施入土壤里应该在密闭条件下进行，速度要快，施用同时严密盖土，氨水转移稀释最好不在田中间进行。不能接触种子或茎叶，以免腐蚀灼烧。

1. 无论水旱地均应深施3—4寸，土壤水分不足应稀释20~40倍，湿度大时稀释度可减少甚至直接施氨水。除用氨水耨或穴施器追肥外，可结合秋新作基肥施入，或播前1—2周混入有机肥施入，或混入堆肥（氨水占干物重2.5%）堆腐后施用。氨水不能作种肥。

2. 水田施氨水，应把氨水导入沃渠水层下，在沃畦入口处可立一砖埂转搅拌均匀施入。切忌倾于田面或水面，以免氨挥发灼烧茎叶。用量以30~50斤/亩/次为宜，要求水面不能有明显的氨味，施后应及时中耕松土。

3. 除应用现有的专门施氨水机械外，还应结合具体情况创制或改制各种施肥机械，因良好的施肥机械是提高氨水肥效的关键问题。

氨水施入土壤后，除部分氨气被土壤胶体吸附外，

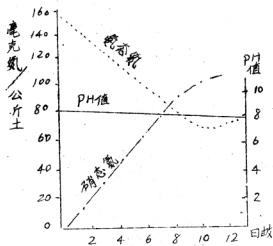


图2-2. 氨水对土壤PH值影响及氨态硝态氮的变异性(山西土肥所)

大部分  $\text{NH}_4^+$  被土壤胶体代换吸附。施入氨水最初几天使石灰性土壤变矸，以后氨逐渐硝化为硝酸，矸性随之降低，维持原来的土壤反应。图2-2即说明了这真。

无论氨态氮或硝态氮都随作物吸收，不会在土壤里残留任何有害杂质。但施氨水最初几天使土壤变矸并有氨气产生，影响种子发芽。山西土肥所试验，氨水施于离种子2厘米处，对小麦、谷子、棉花发芽有抑制，尤其对棉花影响较大。因此，氨水不仅不宜作种肥，即使作基肥也应在播前1—2周施入。

土质愈细腐殖质含量愈高吸收量愈大，氨损失愈少，并随施用深度的增加氨损失减少（表2-5）。

表2-5 不同土壤施氨水深度与氨的损失  
(施200毫克氮，山西土肥所)

土壤质地	施肥深度 (厘米)	24小时损失氮量 (毫克)	损失占施氮量 (%)
砂质壤土	4	114.65	57.3
	7	41.96	20.8
	10	33.25	16.6
粘质壤土	4	46.99	23.5
	7	10.14	5.1
	10	5.20	2.6

此外，土壤结构好氨损失少。土壤过干或过湿和石灰含量愈高、矸性愈大，氨损失也相应增加。氨水加入堆肥、泥炭、褐煤中堆腐，既促进腐熟又减少氨损失并提高肥料质量。氨水合理施用，肥效不低于等氮量的硫酸铵和硝酸铵。

(II) 硝态氮肥：硝酸钠、硝酸钙、硝酸钾等均属硝态氮肥。硝态氮肥共性都有  $\text{NO}_3^-$ ，特殊性则由结合的阳离子  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^+$ 、 $\text{K}^+$  等不同而引起。这类氮肥含氮较低，硝态氮不被土壤胶体

吸附易流失，故不宜用于下湿地，盐碱地和稻田。一般属于生理碱性盐( $KNO_3$ 为生理中性)。

### 硝酸钠( $NaNO_3$ )

最早发现于智利硝矿石，故又名智利硝石。近年我国西北亦有发现。天然矿物除 $NaNO_3$ 外，还含有5%的杂质。现在我省出售的是智利硝石经加工制成的粒状硝酸钠。

(一)性质：进口智利硝石为白色颗粒，物理性状良好，含N 16%。易溶于水呈中性反应。一般硝酸钠具有显著吸湿性，吸湿严重则潮解溶化，天干时失水结块。 $NaNO_3$ 为强氧化剂，具有燃烧爆炸性，遇热分解，貯运时应注意。

(二)施用：硝酸钠施入土壤 $Na^+$ 被代换吸附，引起 $Ca^{++}$ 、 $Mg^{++}$ 流失，连年大量施用使土壤变坏。如与有机肥和钙、磷肥配合施用，可减轻或避免此有害作用。硝酸的中间产物被作物吸收多于 $Na^+$ ，属生理碱性肥料，使土壤变碱呈累积 $Na^+$ ，故盐碱地不宜施用。因 $NO_3^-$ 不被土壤吸附，在多雨地区或季节，下湿地、稻田易流失，故不宜作基肥适于作种肥和追肥。有淋失时应多次施用。干旱区可作基肥与追肥，但应适当深施。不宜用于稻田，适于旱地作物，尤其对喜铵的作物甜菜、苜蓿、大麦等有良好效果。

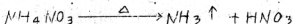
(三) 氨态—硝酸态氮肥：这类氮肥典型代表为硝酸铵。其次有硝酸铵钙、硫硝酸铵等。因同时含有氨态与硝态氮，故兼有这两类肥料性质。属无杂质高效能优质氮肥，对国防和农业都是很重要的。

### 硝酸铵( $NH_4NO_3$ )

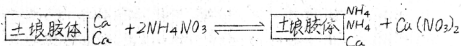
简称硝铵，是我国大量生产的优良氮肥，火药氮肥厂主要生产颗粒状硝铵。

(一)性质：一般为白色或淡黄色结晶颗粒，含氮量32-34%。易溶于水其溶液呈中性或微酸性。硝铵吸湿性强是其主要缺点。

贮存时易吸湿结块施用不便，因此硝酸多制成颗粒状，有的还加入少量疏水性物质如柴油和石蜡、磷灰土粉、硝酸分解物、石灰石粉、白云石粉等，以降低吸湿性，便于施用。硝酸另一特点是热不稳定性，受热时逐渐分解放出氨，骤热至 $300^{\circ}\text{C}$ 以上时，分解产生气体容积增大，在有限容积内易引起爆炸，故可作炸药，贮存施用时应注意。但一般粉碎过程不会引起爆炸。颗粒硝酸不易结块，即使结块也易粉碎。硝酸遇有机物（木屑、油类等）和易氧化物质时，爆炸敏感性增加，贮存时属危险品。硝酸遇热遇碱却易引起氨挥发。



(二) 施用：硝酸施入土壤后的转化和移动，兼有氨态与硝态氮的特质：



处于吸附态 $\text{NH}_4^+$ 移动性小。游离在土壤溶质中 $\text{NO}_3^-$ ，随土壤水分移动。硝酸深施虽较浅施好，但浅施或表施 $\text{NO}_3^-$ 也能随水分向根际区移动，以满足作物氮素营养。多雨与沃溉时 $\text{NO}_3^-$ 易流失，干旱时又能累积地表。所以硝酸不宜作基肥，尤其在播前早期施入，作为种肥或追肥是适宜的。至于稻田肥效则不及硫酸和氯化铵。

硝酸中 $\text{NH}_4^+$ 与土壤代换反应也能引起Ca、Mg的流失，但比硫酸与氯化铵为轻。其中 $\text{NH}_4^+$ 被硝化产生硝酸，但随 $\text{NO}_3^-$ 的吸收，对土壤酸度影响不大。硝酸中阴、阳离子都被作物吸收利用，因此是无杂质的优质氮肥，经常施用对土壤性状影响不大。作物吸收 $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$ 时，硝酸即为生理酸性肥料；如吸收 $\text{NH}_4^+$ 与 $\text{NO}_3^-$ 相等或相差不大时，即是生理中性肥料，所以硝酸在各种土壤上施用都是适宜的。但在砂性与强石灰性土壤上施用，必须施入相应的深度，施后盖土以免氨挥发肥效降



低。其它施肥要求应参考氨态与硝态氮肥，进行分析比较，举一反三的提出合理的施肥建议。

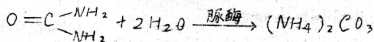
(IV) 酰胺态氮肥：主要是尿素和石灰氮。酰胺态氮中尿素能被作物直接吸收故肥效较快，而石灰氮经微生物转化为氨态氮后才能吸收故肥效较慢，石灰氮分解缓慢且中间产物和  $\text{CaCN}_2$  对作物有害，只能作基肥在播种前1-2周施用，最好  $\text{CaCN}_2$  与有机肥堆腐后施用。不宜作种肥和追肥。

### 尿素 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$

我国自古就有施尿肥的宝贵经验，尿肥主要成分为尿素。尿素是含氮高达46%的优质氮肥，可作家畜蛋白质的代用饲料，也是许多工业的重要原料。各国竟先发展，产量增长很快。我国也在大力发展，以满足工农业需要。

(一) 性质：纯尿素为白色针状或棱柱状结晶，肥料用为白色或微带黄色的颗粒。尿素略有吸湿性，我省干燥条件下吸湿性不大，颗粒状更具有良好的分散性。尿素无臭、无味、对热比较稳定，湿度大时才可能分解，遇砒有氮损失。

(二) 在土壤中转化的：尿素易溶于水，施入土壤后除少部分被土壤分子吸附外，大部留在土壤溶液中使浓度增大。尿素在尿细菌分泌的脲酶作用下氨化成碳酸铵。



碳酸铵中铵被土壤代换吸附。在土壤中性反应、温度较高和水分适宜时，氨化很快，一般  $10^\circ\text{C}$  时7-10天， $20^\circ\text{C}$  时4-5天，盛夏时 ( $30^\circ\text{C}$ ) 2-3天即可全部转化为碳酸铵，使土壤局部暂时变碱。随着硝化作用，从局部变碱转变为局部变酸。这种变碱变酸都很微弱，而且随着作物对氨态和硝态氮的吸收，此酸硷反应都会消失，不会残留任何有害杂质，对土壤性质影响不大，适于各种土壤与作物。

(三)施用：(1)宜作基肥和追肥，一般不宜作种肥，尤其用多不能多，以免影响种子发芽。如作种肥时用多要少，并与细土或有机肥混匀施于种子下适当距离，不能接触种子。

(2)水地应在灌溉前几天施用，因尿素比氨态氮流动性大，施后转变为碳酸铵后再浇水。尿素作稻田追肥应先排水，结合除草耘田施入，施后2-3天内不宜浇水。

(3)旱地施用多宜少并撒匀，以免浓度过高对作物尤其是幼苗发生危害。用多时可混细土于土均匀施入湿润的土层盖土。

(4)尿素作为根外追肥比其它氮肥优越。因尿素不含付成分，有机态呈中性反应对茎叶损伤小。分子小极性弱易渗入细胞，且本身有吸湿性喷于叶面能继续保持溶解状态，以利叶面吸收。渗入叶细胞不易产生质壁分离，即使产生也易恢复。提高作物体内巯基(-SH)含量，有刺激作用等等。

有人试验，用尿素和双氧水( $H_2O_2$ )的络合物处理小麦和甜菜种子，不仅增加产量，而且增加小麦蛋白质与甜菜含糖量，并提早成熟；苹果树喷尿素能促进花芽形成，减轻大小年结果现象，苹果前喷施使苹果鲜艳。说明能以分子态进入叶内，不仅起氮素营养作用，而且有刺激生长作用。

尿素根外追肥浓度，依作物种类、生长状况和栽培条件而不同。一般禾谷类作物可大些(约1.5-2%)；果树小些(约0.5%)；蔬菜介于其间(0.5-1.5%)。同种作物生长盛期浓度高些，衰老期与幼苗嫩叶期低些；成年比幼年树高些等。当喷尿素时混入农药或其它肥料时，浓度应适当降低。如尿素中含双缩脲时，用多时也可能发生毒害。

近年来研究的一种持久氮肥，即尿素与甲醛缩合制成的脲缩胶，一次施用持续供给作物氮素，难溶于水不易流失。初步研究如结合速效氮肥施用有良好效果。

## 第四节 氮肥的有效施用

列宁说：“要真正的认识对象，就必须把握和研究它的一切方面、一切联系和‘媒介’”。为了有效地施好氮肥，必须联系作物、土壤、气候、农业技术等因素综合考虑。虽然“我们决不会完全地作到这一点，可是要求全面性，将使我们防止错误，防止僵化”。施氮肥时必须有机地联系各相关因素，辩证地认识每一技术措施，周密考虑和客观地分析，提出有效施用氮肥的措施。

### 一. 氮肥种类的选择

为便于选择氮肥，现将常用氮肥列表如下：

表2-6 常用的氮肥简述

名称	化学成分	含N量 (%)	氮肥形态	主要性质	施用特点
硫酸铵	$(NH_4)_2SO_4$	20-21	固态	白色结晶，酸性速效，吸湿性小，易被土壤吸附。	宜作追肥、种肥，也可作基肥，适当深施盖土。
氯化铵	$NH_4Cl$	25-26	固态	白色结晶，酸性速效，吸湿性小，易被土壤吸附。	宜作追肥和基肥，不宜作种肥，不宜用于烟草、薯类作物。
碳酸氢铵	$NH_4HCO_3$	17-17.5	固态	白色结晶，中性，易挥发速效，吸湿大，易被土壤吸附。	宜作追肥，不能作种肥，应深施，盖土，不能接触苗与种子。
氨水	$NH_3 + H_2O$ 或 $NH_4OH$	15-18	液态	液体，中性，速效，易挥发，有氨臭，有腐蚀性，易被土壤吸附。	用施肥器 <sup>机</sup> 深施盖土，不能作种肥，不能接触苗、种子，作基肥应早施。

液氨	$NH_3$	82	氨态	液体,氨气压力大,矽性,貯运用耐压力容器,其它同氨水。	作基肥与追肥,必须用特殊施肥机器,其它同氨水。
液制品 (氨络物)	$NH_3+NH_4NO_3$ $NH_3+Ca(NO_3)_2$ $NH_3+CO(NH_2)_2$	30-45	氨态—硝态 氨态—硝态 氨态—酰胺态	液体,氨气压低于氨水,更低于液氨,低温易发生盐析沉淀,其它同氨水。	宜在夏季施用,春秋盐析沉淀易堵塞施肥机,其它同氨水。
硝酸钠 (智利硝石)	$NaNO_3$	16	硝态	白色粒状,速效,化学中性,生理矽性,有吸湿性,有燃烧爆炸性, $NO_3^-$ 易流失。	宜作追肥,不宜作基肥,适于酸土,不适于盐矽土与稻田,连年大量施用易破坏土质。
硝酸钙	$Ca(NO_3)_2$	13-15	硝态	灰褐色结晶颗粒,速效,吸湿强,生理矽性, $NO_3^-$ 易流失。	适于任何土壤,对土壤无不良影响,宜作追肥,种肥,不宜于稻田。
硝酸铵	$NH_4NO_3$	32-34	氨态—硝态	白色结晶或颗粒,酸性,速效,易吸湿结块,防爆炸, $NO_3^-$ 易流失。	宜作追肥,种肥,不宜作基肥与稻田,施适于各种土壤,用于烟草。
硫酸铵	$NH_4NO_3 + (NH_4)_2SO_4$	25-27	氨态—硝态	淡黄色颗粒,酸性,速效,吸湿小,其它同硫酸铵与硝酸铵。	同硫酸铵与硝酸铵。
硝酸铵钙	$NH_4NO_3 + CaCO_3$	20-21	氨态—硝态	灰色,淡黄色粉或颗粒,弱矽性,速效,吸湿性小。	必须深施速盖土,适于缺钙土壤与酸土,其它同硫酸铵。

尿素	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	4-6	酰胺态	白色结晶或粒状。中性。速效。常温干燥不吸湿。遇热稳定。不易被土吸附。浓度大。转化成碳酸后易吸附。	适于任何土壤与作物。宜作追肥。种肥用时要作根外追肥好。水田基肥要早施。施后2-3天后浇水。
石灰氮 (氰氨化钙)	$\text{CaCN}_2$	20-22	氰态氮或 酰胺态氮	黑色粉末。研性有毒。有腐蚀性。受潮结块硬化。迟效。含大量CaO受潮易引起氮损失。可作杀虫。杀苔。与棉花脱叶剂。	适于酸土。不适于碱土。宜研土。宜作基肥。播前10-15天施用。或与有机肥堆腐后施用。不能作追肥与种肥。

氮肥形态的选择主要决定于土壤、气候、作物种类与生育期、施肥方法等。涉及因子繁杂最好通过试验来确定。但是“在复杂的事物的发展过程中，有许多的矛盾存在，其中必有一种是主要的矛盾，由于它的存在和发展，规定或影响着其他矛盾的存在和发展”。所以，选择氮肥时，不同条件下“就要用全力找出它的主要矛盾，捉住了这个主要矛盾，一切问题就迎刃而解了”。

(一) 土壤：对于不同的土壤“必须研究矛盾的特殊性”。所以对酸性土就应选择研性肥料（氨水、液氨、脘制品、碳酸氢铵、石灰氮等）或生理研性肥料（硝酸铵、硝酸钙等）。因研性肥既能中和土壤酸性，而且硝态氮在酸性条件下利用率也较高；中性或微研性石灰性土壤则选择中性或酸性、生理酸性肥料如硫酸铵、氯化铵、硝酸铵、硫硝酸铵等；无论哪种土壤尿素、碳酸氢铵、氨水、硝酸铵等都有良好的效果。应该注意，上述选择只是相对的，并不是绝对的。

(二) 气候：低温下小麦氨态氮优于硝态氮，气温高时则相反。因此小麦以冬施氨态氮肥和春施硝态氮肥较好。降雨多的地区或季节，以及灌溉条件下，应选择氨态氮肥；干旱地区、旱季以及旱地条件下，可选硝态氮肥。但应注意施用深度、用量和次数。当然这些原则也只具相对意义，不能当作教条生搬硬套。

(三) 作物：不同作物对氮肥选择时，就在于具体地分析具体情况。水稻、马铃薯等忍耐酸性或对酸不敏感的植物可选择氨态氮肥；相反地，甜菜、大麦等选择硝态氮肥。不同形态氮肥对各种农作物效果是不同的。我国肥料试验网所作的氮肥形态肥效比较试验结果如下：

表2-7. 各种氮肥和等氮量硫酸钾产效果比较(1958)

试验作物	氨水	碳酸铵	硝酸铵	硝酸钙	硝酸钙	氯化铵	尿素	石灰氮
水稻	1.9	0.5	-1.1	-4.1	11.7	2.8	1.4	-4.6
小麦	—	-29.7	-4.8	-3.4	8.1	-3.8	-8.0	-11.6
棉花	-2.4	-4.5	-5.7	-1.4	—	-5.6	1.1	-15.2
玉米	-1.0	-19.2	1.5	-0.7	—	-2.7	0.0	-23.4
谷子	—	—	5.3	-2.3	—	2.4	1.0	-3.7
高粱	—	—	-3.8	—	—	-3.7	-4.7	-1.9
甘薯	—	3.4	-0.7	—	—	—	—	—
油菜	-16.9	—	4.4	—	—	0.0	—	—

对水稻尿素、氨水、碳铵、氯化铵都较硫酸铵优越；硝铵则不及硫酸；小麦则以硫酸铵最好；尿素对棉花较好；其它氮肥都较差，尤以石灰氮最差；玉米除碳铵与石灰氮外，其它品种都相仿。

同一作物不同生育期对氮肥形态要求也有差异。对大麦故

作物来说，幼苗期对硝态氮反应都较好。生育盛期光合作用强，累积碳水化合物也较多，氨态氮就有较好的效果。但也有例外，如番茄前半期对氨态氮反应较好，后半期则对硝态氮反应较好。

不同形态氮肥不仅影响产量，而且对品质也有很大影响。施氨态氮时能促进作物体内还原过程，提高还原态化合物含量。例如，可提高橡胶草和橡胶树的橡胶含量；增加工艺作物挥发油含量；减少蔬菜中草酸含量等。当施硝态氮肥时，促进作物体内氧化过程，增加有机酸（草酸、苹果酸、柠檬酸等）含量。例如，烟草施用硝态氮，增加柠檬酸和苹果酸累积促进燃烧性；而施用氨态氮又促进芳香挥发油形成，增加了香味。所以烟草最好施用硝酸铵。

此外，不同施肥方法基肥、种肥、追肥和根外追肥对肥料选择也是很重要的。可参考前面肥料的论述。

## 二. 氮肥的施用时期：

氮肥施用期对各种农作物要求是不同的，即使同一作物不同情况下也有差异的。一般苗期对氮反应敏感，幼苗期缺氮会严重影响产量，但这时氮肥过多也易发生危害。故施用少量优质氮肥作种肥增产效果最显著。山东农科所综合1957年资料，小麦每亩播量用5斤硫酸拌种，增产小麦4.28~20.95%，平均增产8.34%。作物营养盛期对氮肥需要量显著增加，追肥要求前重后轻。如山西土肥所在解于试验，等量氮素在棉花蕾期追施比铃期增产22%，盛花期追氮比铃期增产10.4%。实践试验证明，生长盛期适当追氮能显著增产；但过量的氮使营养体徒长，如谷类作物增加无效分蘖，对后期产量不利。至于后期抽穗到灌浆期，普遍认为应适当降低或维持适当的氮素营养是必要的，如氮肥过多或追氮肥过迟，不仅效果不大，而且含青晚熟。所以晋南群众就有“清明（拔节以后）追麦子，落一把黑叶子”的说法。

但是也有试验指出，大麦乳熟和腊熟期缺氮都会减产，认为此期对氮反应最为强烈。1958年许多丰产事例和老农反映，后期追氮能提高产量和品质。最近报导<sup>①</sup>福迎闽侯相厝大队全年亩产2051斤水稻巧施肥特真是：根据水稻“分蘖、造粒、抽穗”三个生长阶段对肥料不同需要，采用“攻头、保尾、控中间”的施肥法。南方群众也有“粪杓打得稻响，还有几斗米好长”的说法。六十年代日本为了提高肥效采用深层追肥法，即抽穗前30~40天将肥料施入12厘米深处，一般能增产10~20%。此外，日本还注意“V”字理论施肥法<sup>②</sup>，即生长前期和后期促进，穗分化期控制，争取穗多粒饱。

显然，上述意见是有分歧的，这和土壤肥力，作物需肥特点，施肥水平以及产量水平都有关系。“无论任何人要认识什么事物，除了同那个事物接触，即生活于（实践于）那个事物的环境中，是没有法子解决的”。要探讨有效施用氮肥的时期，必须通过认真地试验和实践来发现真理，再通过实践证实真理和发展真理。除此没有办法解决这些矛盾问题的。

### 三. 氮肥与其它肥料配合施用

氮肥与有机肥合用，能减少氮素损失，避免施氮过多造成浓度过高危害，尤其是氮肥作种肥时更为重要。尤其是氮肥作种肥时更为重要。在缺磷的土壤上，施氮肥时必须满足磷的要求。因磷不仅促进醣转化供给合成含氮有机物的基质；而且在含氮物质代谢过程中，蛋白质合成，硝态氮的利用等都离开磷的参加。因此，施用磷肥能显著提高氮肥的利用和效果。表2-8就说明了这点。

钾对醣的合成转化有重要作用，醣不足影响蛋白质形成，同时钾又促进蛋白酶的活性。说明氮、磷、钾营养相关的重要

① 人民日报 1972年4月18日

② 六十年代国外农业概况：农林部农林科学院情报资料。



性。试验实践证明，氮磷钾适当配合有明显的增产效果。不仅氮磷钾而且几乎所有营养元素都有重要的相关性。

表2-8 玉米氮磷肥配合对氮肥肥效影响

(地点:太谷申奉村,山西农学院1964)

处 理		苗期植株全N量		平均果穗重(斤)
		含氮%	增加%	
有 机 肥 料	+ N <sub>1</sub>	3.01	—	0.78
	+ N <sub>1</sub> P	3.12	3.7	0.85
	+ N <sub>2</sub>	2.91	—	0.73
	+ N <sub>2</sub> P	3.09	6.2	0.80

例如，钙可促进氮的吸收，缺Ca、Mn、Mg、Mo等硝态氮即不能还原利用，缺Fe、Mg叶绿素就不能形成，同样B、Cu、Zn、S等都和氮素营养有密切关系。因为“一切客观事物本末是互相联系的和具有内部规律的”。因此要充分发揮氮肥效果，不能只考虑氮肥，必须重视各种营养元素之间的互相联系和协调一致。否则，单方面增施氮肥不仅影响其效果，而且会造成不良的后果。

#### 四. 氮肥的效果和用费

表2-9 氮肥增产效果(1958年全国资料)

作物	肥底	试验亩数	每斤氮平均增产斤数	显著增产占总数%
水 稻	无农家肥	24	18.0	78
	施农家肥	38	15.5	79
小 麦	施农家肥	11	10.5	82
玉 米	施农家肥	16	19.0	100
棉 花	无农家肥	13	7.5	77
	施农家肥	10	9.5	80

全国和我省绝大部分地区和农作物合理施用氮肥，都有明显的增产效果。

由于氮肥增产显著，所以我国对氮肥的生产、供应和施用都占首要地位。因此，经济合理地施用氮肥，对发展我国农业生产非常重要。

氮肥的适宜用量，必须依土壤肥力、作物种类、产量水平、营养特性、养分配合、肥料性质及其利用率、气候和农业技术条件等等来决定。既不能机械的规定，也不能教条搬用别处经验，最好和贫下中农结合通过实践来确定。根据过去的资料和实践经验，在目前条件下，施农家肥的基础上每亩施5—12斤氮素都有良好效果。显然，高额丰产田这种氮肥用量是不足的。氮肥不足时每亩施3—5斤也是可以的。苏联资料棉花每亩施17斤氮素增产效益最高。大于或小于17斤增产效益都下降。这些意见与资料只能供参考。因为“情况是在不断地变化，要使自己思想适应新的情况，就得学习”。否则，就跟不上形势发展的需要。因此“要接受新事物，要研究新问题”。根据已经改变了的新情况，提出创造性的建议。

## 第三章 矽素营养与矽肥

近年群众对矽肥有三种评价：第一种认为矽肥无效，“矽肥灰面画，上它枉花钱。”“矽肥不顶事，撒上也白费。”第二种认为矽肥肥效不大，“矽肥肥效差，除掉锅巴没得饭。”第三种认为矽肥肥效很好，“矽肥不没有内功，壮秆佬秆面筋大。”这三种看法都是从实践中体会的，都有一定依据。关键就在于：“对于具体情况作具体分析”，“所谓分析，就是分析事物的矛盾。”但是“对于所述的矛盾不真正了解，就不可能有中肯的分析。”在矽肥肥效上产生上述矛盾看法，并不是矽肥本身对作物无效，而是对矽肥的作用、在土壤中的转化和性质以及施用方法还不够了解，有的在应用上还存在一些问题。因此，为了有效地施好矽肥，必须对矽的内在和外在矛盾，即矽营养、土壤矽状况和矽肥以及相关因素，作周密细致的分析研究，不能提出有效施用矽肥的意见，为农业生产作出贡献。

### 第一节 矽素营养

矽酸对生命现象的基本作用是在物质代谢中起能量传递的作用，如光合作用中光能转变为化学能，呼吸过程，物质代谢和能量转化等等都离不开矽酸作用。因此，作物矽营养的好坏直接影响其生命活动、产量和品质。

#### 一、矽供应过少与过多的症状

(一) 矽对作物有多种作用，缺矽症状相当复杂，各作物缺矽特征也不尽相同。

1. 缺矽代谢受到抑制，故生长迟缓植株矮小，叶卷曲呈暗绿色，及暗缺乏光泽。

2 碳水化合物代谢破坏。磷相对匮乏有利于花青素(紫色素)形成,茎叶呈现红色或紫红色条纹或斑点,尤其叶背面明显(番茄),玉米出现红苗,叶尖枯萎导致组织坏死而脱落。症状从下部叶开始。

3 缺磷新细胞形成受阻。幼芽与根系生长受到强烈抑制,侧枝侧芽形成减弱以至死亡或处于休眠状态。植株直立茎叶间角度变小。

4 缺磷抑制谷类抽穗开花,成熟延迟,穗粒少而不饱满,薯类薯块小品质差,严重时薯块内出现锈斑。

(二) 对磷也宜“一分为二”,磷不均衡的过多而其它养分不能相应增加时,对作物也是不利的。

1 磷过多强烈刺激作物呼吸消耗大量糖分,谷类无效分蘖冲和,穗粒少而秕粒多。

2 磷过多时肥厚而脆以至叶尖枯凋,尤以幼叶易产生,强烈刺激细胞分裂,但因氮及其他养分不足致新分裂的细胞不能伸长,故植株矮小,节间过密,叶片拥挤在一起。

3 磷过多时叶合成产物迅速转移,使茎叶继续生长受到抑制,繁殖器官过早发育而早熟。根系上冲大地上部较小,造成作物畸形发展,组织衰老加速,叶用蔬菜纤维多,食用品质降低。

磷不足或过多都是相对的,是和周围其它营养元素供应水平和比例互相联系和互相影响的。例如,氮钾和其它养分供应水平随磷供应水平的提高而相应的提高了,磷就不是过多而是适量了,在此情况下,不仅不会产生过重的有害影响,而且能进一步提高产量和品质。

## 二 作物体内磷化合物及其作用:

毛主席教导我们:“我们看事情必须要看它的实质,而把

它的现象只看作入门的向导，一进门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。“磷不足或过多的外部特征仅是作物营养失调内部矛盾性的外在反映。因为“事物发展的根本原因，不在事物的外部而是在事物的内部，在于事物内部的矛盾性。因此，必须深入研究磷在作物体内形态和其在代谢中的作用，以及磷供应失调时作物体内所发生的矛盾。只有通过现象看本质，抓住本质的矛盾才能为有效的施磷肥提供可靠依据。

作物体内磷主要呈无机态和有机态。

(一) 无机磷化合物：作物生育盛期茎、叶和根含大量无机磷酸盐。磷供应充足时，体内无机磷占总磷量的一半以上。作物快成熟时，无机磷逐渐减少，转化成籽粒磷（植素）及其它有机态磷在繁殖器官累积。据我们试检春大麦生育期间无机磷占总磷量的40—60%，成熟时种子内无机磷占总磷量的15—25%，磷供应水平愈高无机磷累积愈多，但磷供应过量并不相应的增加无机磷的累积。

表3-1 磷供应水平与大麦体内无机磷酸盐累积  
(山西农学院 1963年土培试验)

处理	苗 期 (5月12日)		盛 期 (6月1日)		收 获 (6月23日)	
	土壤有效磷 (PPM)	体内无机磷 (mg/盆)	土壤有效磷 (PPM)	体内无机磷 (mg/盆)	土壤有效磷 (PPM)	种子无机磷 (mg/盆)
NK	26	6.58	13	6.14	11	3.26
NK+P <sub>1</sub>	48	11.46	42	33.28	40	5.05
NK+P <sub>2</sub>	99	23.74	75	57.54	65	9.23
NK+P <sub>3</sub>	132	23.30	90	47.27	94	9.83

由于磷供应水平和作物体内无机磷累积有一定的相关性，因而近年来人们就提出测定作物组织中无机磷酸盐含量，来判断磷的供应水平和施磷肥的必要性。实践证明，作物体内磷酸

含量在一定条件下可作为磷营养指标，缺磷时体内磷酸盐很少，充足时就大量累积。根吸收的磷向地上部转移时，部分转变成有机态，但大部分仍是无机态。磷酸盐是细胞不可缺少的组成部分，甚至细胞核与染色体内亦有存在，其主要作用：

1. 磷酸盐是磷的主要贮藏形态，很易转移并形成含磷的有机化合物。

2. 对分生细胞和胚细胞产生膨压作用。

3. 调节作物细胞内的缓冲性。使细胞原生质  $PH$  值保持恒定，以利生理活动正常进行。磷酸盐在  $PH \leq -8$  时缓冲性最强，耐硷作物细胞内有大量无机磷酸盐。因此，盐硷土施磷肥可提高作物抗硷性。

4. 降低游离铁离子的毒害。

5. 调节作物体内能量平衡。磷酸盐累积能使作物体内保持高能量水平，以活跃代谢过程；到生育末期磷酸盐减少，籽实盐增加，能量水平降低，生理活动衰退。

(二) 有机磷化合物：

1. 核酸与核蛋白：磷是核酸的主要组成部分，而核酸多与蛋白质结合成核蛋白。组织愈幼嫩核蛋白含量愈多，对蛋白质合成起重要作用。核蛋白存在于细胞核与原生质中，只有不断供给磷的情况下，核蛋白才能继续形成，否则，核蛋白合成中断，细胞分裂与生长就受到抑制，使作物生育停滞，植株矮小。种子贮藏的磷在种子发芽时，逐渐转移到新形成的细胞中，这时土壤有效磷不足而又未及时施磷肥，作物根细胞分裂和生长就受到抑制，严重影响根系发育，即使以后再供给磷亦难于补偿早期缺磷所造成的严重危害。因此，磷肥作种肥有很重要的作用。

核酸在细胞质内，去氧核糖核酸在细胞核内。细胞质与细

胞核间的代谢是紧密结合成统一的整体。因此，这两种核酸经常互相转化。在作物生育期间，幼龄植株比老龄核蛋白含量高，上部叶与幼嫩部位比下部高，作物幼嫩根特别在根尖核蛋白相当丰富。可见，核酸与核蛋白主要集中在生长最活跃的幼嫩部位，以促进细胞分裂和生长。作物培育在缺磷条件下，开始生长缓慢，以后则完全停止生长而死亡。我们在试验情况下培育玉米幼苗，27天后根重仅0.82克，而磷供应足时即达4.89克。缺磷对根影响最大，其次才是茎叶和株高。因此，仅从地上部生长情况来判断磷肥效果是很不够的。

2. 磷脂类化合物：作物体内磷脂类很多，谷类快成熟时，许多磷酸化合物尤其是磷酸盐就转移到种子中形成籽磷盐贮藏起来，以供种子萌发和幼苗早期磷营养要求。磷供应充足，种子中就积累大量籽磷盐，以利下代苗期生长。所以“母壮子肥，籽齐苗壮”是有道理的。因此在苗圃地上施用足够的磷肥很重要的。

卵磷脂和脑磷脂也是幼植物细胞原生质中重要磷脂化合物，对原生质结构和细胞透性有很大作用，它也是种子中磷的贮藏形态，以供幼苗磷的需要。因磷脂分子中同时具有酸性基和硷性基，对细胞内缓冲性有重要作用。

3. 高能磷酸化合物：具有高能键的三磷酸腺苷(ATP)与二磷酸腺苷(ADP)在作物代谢中起能量传递作用。含量不高但作用确很大。

此外，许多酶类、糖磷酸脂、维生素等都是重要磷化合物。即使有些化合物不含磷，但在其转化过程中都需磷参加。作物体内各种磷化合物含量依作物种类，生育期为转移，也和磷营养及其它养分供应有密切关系。

表 3-2 小麦、燕麦中磷化合物形态及其含量

磷化合物形态	小麦籽粒		燕麦籽粒	
	占干物质%	占全磷量%	占干物质%	占全磷量%
全 磷	1.904	100	1.810	100
无机磷酸盐	0.384	20	0.370	20
蛋白质态磷	0.044	23	0.438	24
籽酸盐态磷	0.390	21	0.680	38
磷脂态磷	0.134	7	0.162	9
蔗糖磷脂态磷	0.552	29	0.160	9

### 三、磷对作物代谢过程的影响

(一) 磷与碳水化合物代谢：利用含  $C^{14}$  的  $CO_2$  进行光合作用时， $C^{14}$  一分钟内即进入磷酸丙糖和磷酸甘油酸中。二磷酸核酮糖是  $CO_2$  的接受体；说明磷参与光合作用过程。三碳糖转化成六碳糖、双糖和多糖过程中都离不开磷的参加。同时，只有在磷酸化酶作用下，作物体内复杂的碳水化合物水解形成磷酸酯才能流动，从营养器官向繁殖器官转移，再进一步合成双糖或多糖。

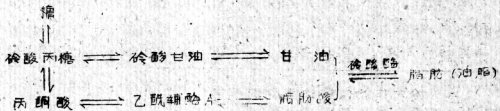
实践证明，缺磷时冲施磷肥就可促进上运过程，使茎叶繁茂并及时把叶子积累的糖向种子或块茎、块根中转移。从而谷类作物籽粒饱满，籽实比例增加；马铃薯、甘薯和甜菜中糖分增加，提高产量改善品质；棉花脱落减少，果树果实膨大加速等等。因为磷有利于碳水化合物合成、转化和转移，从而促进作物早熟。

磷参与呼吸过程，具有高能键的三磷酸腺苷与二磷酸腺苷相互转化传递能量，以维持作物正常的呼吸作用。高能键的能量来源主要是光能的吸收和呼吸热能的貯蓄，以供作物代谢和生命活动所需的能量。



参与碳水化合物代谢的磷酸化酶是多种多样的，如淀粉磷酸化酶，蔗糖磷酸化酶；辅核酶，黄酶等等。因此，磷不足直接影响作物各种生理活动，使代谢紊乱而产生各种症状。

(二) 磷与脂肪代谢：油脂由糖转化而来。从糖转化成甘油和脂肪酸并合成脂肪都需磷参加。



所以，种植大豆、花生、油菜、胡麻、芝麻等油料作物时，施磷肥有良好效果，不仅提高产量，而且能提高油脂含量和出油率。

(三) 磷与含氮物质的代谢：缺磷磷酸还原受阻，产生联胺蛋白质有分解现象，可溶性含氮物增加，有氨基酸与酰胺累积，氮的吸收利用受到严重影响。缺磷时作物体内磷酸盐和可溶性含氮物由于不能及时转化利用就相对累积；相反，缺氮时磷酸盐就不能利用而累积。由此而得出作物不需施氮肥或若肥都是先面的。因此，营养诊断时应同时测定磷和其它养分，然后互相对比分析才能得出正确的结论。

氮磷营养密切相关，说明氮磷肥料配合施用极为重要。经我们多次盆栽和田间试验证明，小麦、大麦等苗期体内  $N:P_2O_5$  接近 2:1 和成熟时接近 3:1；水砂培养营养液要求 1:1，土培与田间试验要求 1—1.2 时，所获得的产量和蛋白质含量最高。可见，氮磷肥配合施用，维持作物正常营养的氮磷比例，是提高产量和改善品质的重要保证。

#### 四、磷对作物抗性的影响：

抗旱性：磷能提高作物抗旱性。因为：①磷能促进细胞结

构的充水度和胶体束缚水的能力，从而降低细胞水分损失；②能提高细胞原生质的弹性和韧性，因而增强了原生质对局部脱水和过热的抵抗力，降低不正常的过度蒸腾从而免受脱水造成危害；③能促进根系发育，加强对土壤水分的利用，显著提高抗旱性。

抗寒性：磷可提高作物抗寒性和越冬性。因为：①磷酸能维持和调节作物代谢，使之适应于新改变的环培条件，维持正常生理活动，减少外界条件的干扰。施磷钾肥尤其氮磷钾肥配合或与有机肥合用对抗寒显著有利；②磷促进拟脂、蛋白质及其它保护物质形成，故提高抗寒性。

此外，磷还能提高抗病性，抗倒伏性等。

### 五、作物对磷的吸收

作物主要吸收正磷酸态磷 ( $H_2PO_4^-$ )，但也能吸收偏磷酸态磷 ( $HPO_4^{2-}$ ) 与焦磷酸态磷 ( $H_4P_2O_7$ ) 及某些含磷的有机物，如甘油磷酸酯、蔗糖磷酸酯、蔗糖磷酸酯、核糖苷、核糖等。但以正磷酸盐为主，其中  $H_2PO_4^-$  最易吸收， $HPO_4^{2-}$  次之， $PO_4^{3-}$  最难吸收。有机磷则以甘油磷酸酯、葡萄糖磷酸酯、核糖较为吸收，磷酸盐、卵磷脂等很难吸收。作物吸收的磷则以正磷酸态磷参与代谢过程。

根吸收的磷向地上部移动速度依营养条件和环培条件而不同，一般数十分钟即达顶端。从根吸收的磷通过木质部，可吸收的磷通过韧皮部移动。根吸收的磷首先向生长最活跃的幼嫩部位移动和累积，因这些部位要求多量核糖和磷酸的络合物，以及进行旺盛代谢的高能磷酸等。不仅吸收的磷酸如此，而且由于磷在作物体内最为移动，随着作物生长，当形成更幼嫩的组织时，磷酸就进一步再转移到更为幼嫩的新生部位（图3—

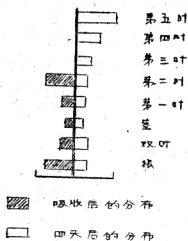


图3-1 蚕豆中  $P^{25}$  被吸收后的分布及四天后的再分布

所以，作物生育早期充足的磷营养，既有利于幼后期旺盛的生理活动和根系发育，促进养分的吸收和利用，也有利于随着个体发育，磷酸从老组织向新组织运转，使磷酸可反复多次再利用，充分发挥磷的营养效果，最后从茎叶转移到籽粒。磷酸的再利用率达吸收磷量的70-80%比素的运转率还高。因此，磷对茎叶生长和籽粒产量，

是吸收愈早效率愈高。所以，磷肥作为种肥或早期追肥对保证作物正常磷营养有重要的作用。一般到生育后期根系吸收能力降低，磷肥也难以深入下去，作物主要通过体内磷的再利用以满足其需要，这时根部追磷肥的效果常不太理想，如前期营养不足，这时又迫切需要磷营养时，常采用根外追磷的方法来补救。

但是不同作物情况可能并不完全相同。例如，无论磷供应水平如何，水稻生育初期磷效率最高，而大豆开花期吸收的磷对籽粒产量也有很高效率。凡是后期对磷反应较强的作物，磷肥除作为种肥外，作为基肥或生育前期深施追肥也是非常重要的。

为了充分发挥磷肥效果，调节土壤磷酸反应和营养离子的比例，以及维持土壤的适宜酸碱度等等都是很重要的。

## 第二节 土壤中磷的含量、形态及其结构

### 一、土壤中磷含量状况

土壤中磷的总含量主要决定于成土母质和有机质含量。一般土壤熟化程度愈高质地愈细全磷量愈高。我省土壤全磷量( $P_2O_5$ )一般都在0.1—0.2%之间,也有低于0.1%或高于0.2%的。磷含量常随深度的增加而减少,但此趋势不及氮明显。

土壤速效磷(可给态有效磷)含量,主要决定于熟化程度施肥状况等,尤其和土壤有机质含量有密切关系,常随有机质含量的增加而增加,土层深度的增加而减少。

由于人们生产劳动精耕细作,施肥等不断提高土壤肥力,使全磷量特别是速效磷含量显著增加,但土壤中绝大部分属无效态,速效磷含量很低。我们判断土壤供磷情况时,应同时了解这两种形态的磷,而以速效磷来判断土壤供磷状况和施磷肥的必要性能更具有现实的意义。但速效磷变异性能很大,常随施肥、耕作、季节、土壤温湿度、种植作物状况等等发生变化。

表3-3 山西几种主要土壤耕层磷含量状况

(山西农学院 1964)

地区 项目	天镇威头	大同 施家会	太原 谷家湾	平定农场	长治西郊	晋城 刘寨川	万荣通化	运城 高家园
质地	沙壤土	砂壤土	轻粘壤土	轻粘壤土	中粘壤土	重粘壤土	轻粘壤土	中粘壤土
PH值	7.0	7.5	7.3	7.6	7.4	7.2	7.7	7.8
$CaCO_3$ (%)	2.03	3.78	4.86	6.35	7.41	0.57	12.30	11.00
全磷 $P_2O_5$ (%)	0.168	0.134	0.190	0.190	0.180	0.087	0.174	0.233
速效磷 (PPM)	3.0	12.7	12.1	29.7	15.6	5.7	7.7	17.9

从上来看,我省土壤全磷量还是较高的,而速效磷含量确是较低的。因此,施磷肥不及氮肥效果稳定,但仍有一定的效果。近年由于产量水平的提高,无机氮肥的应用,磷肥肥效有愈来愈明显的趋势。今后改善我省土壤磷供应状况,一为

面设法提高土壤潜在磷（全磷）的有效性；另一方面也必须重视磷肥的施用。

## 二、土壤中磷化合物形态及其转化：

土壤中磷可分为有机态磷和无机态磷两大类，无机态磷又可分为水溶性、弱酸溶性和难溶性三种。这些形态的磷经常处于动态变化中，正如恩格斯所说：“物质没有运动是不可想象的。”但各形态的磷在土壤中，既有相对地静止状态，又有显著地变动状态。

(一) 水溶性、弱酸及柠檬酸溶性磷酸盐。主要有：水溶性磷土金属一代磷酸盐，如  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ 、 $\text{Na}_3\text{PO}_4$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ 、 $\text{K}_3\text{PO}_4$ 、 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  和  $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  等等；弱酸及柠檬酸溶性磷酸盐主要为磷土金属二代磷酸盐  $\text{CaHPO}_4$ 、 $\text{MgHPO}_4$  等。水溶性磷酸盐极不稳定，受作物吸收和弱酸溶性磷的动态影响。这两种磷酸盐对作物都是有效的，因此，这类磷含量高低，在一定条件下代表土壤供磷能力。但这类磷含量很低，每公斤土仅数毫克，作物从土壤吸收的磷常大于此数，因此土壤速效磷测定结果，并不能与作物利用的完全一致。这类磷经常处于变动状态，主要依土壤酸硷反应而变化（表3-4）。

表3-4 无机磷在不同的土壤PH值情况下变化

土壤PH值	>7.5	6.8	6.5	5.0
磷的形态	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \downarrow$	$\text{HPO}_4^{2-}$ $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 有效磷酸	$\begin{array}{ c } \hline \text{P} \\ \hline \text{O} \\ \hline \text{O} \\ \hline \text{O} \\ \hline \end{array}$	$\text{AlPO}_4 \downarrow$ $\text{FePO}_4 \downarrow$
固定方式	磷酸钙	有效磷酸	粘土矿物	铝    铁

在石灰性土壤上，不仅形成难溶性  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ，时间较长还能形成作物几乎不能利用，溶解度很小的磷酸钙、磷酸铁、磷酸铝以及磷酸盐磷酸钙等。但在一般石灰性土壤中磷的固定

远不及强酸性土严重。

当条件适宜土壤微生物大量繁殖时，强烈吸收土壤有效磷转变为作物暂时难于利用的有机态磷，这叫生物固定。但微生物死亡后又重新分解释放出磷酸，因此，此固定远不及上述固定严重。

(二) 矿物态难溶性磷：土壤难溶性磷矿物有磷灰石类 $[Ca_5(PO_4)_3F, Ca_5(PO_4)_3OH, (Ca_3(PO_4)_2)_2, CaCO_3]$ 等；磷灰土 $[Ca_3(PO_4)_2]$ ，绿铁矿，兰铁矿，磷铁矿，磷铝矿等。这类磷作物难于利用（如磷灰土）或几乎不能利用，但这类磷在土壤中所占的比例很大。这部分磷虽不能为作物直接利用，但经过风化后在各种酸的影响下，逐渐转变成易溶性磷酸盐。例如在土壤代换性酸，作物根分泌的有机酸和呼吸产生的碳酸，硝化与硫化细菌所产生的无机酸，以及有机肥分解和生理酸性肥料所产生的酸作用下，难溶性磷逐渐溶解，转变成作物易利用的磷酸盐。但条件改变时又被固定。可见各种形态磷在土壤中经常处于动态平衡中。

磷的有效性

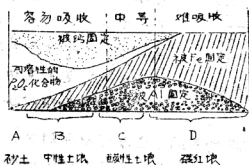
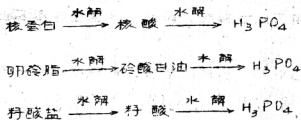


图3-2 无机磷在土壤中形态及其有效性

### (三) 有机磷化合物：

土壤有机磷化合物主要有核酸、核蛋白、磷脂类、籽酸盐与微生物体内磷化物。有机磷含量在不同土壤中变化较大，主要依有机质含量和成分而变化，一般占全磷量20%左右，随着土壤有机态磷含量减少，有机态磷经常进行合成与分解，使有机磷和无

机磷之间建立了极为活泼的动态平衡，以保证作物获得正常的磷营养。有机磷在磷细菌作用下，逐渐矿物质化为无机态磷。



所产生的磷酸除直接被作物和微生物吸收利用外，也可参与上述磷的固定过程中去。

上述各种形态的磷在土壤中经常处于运动状态，即相对地静止状态和显著的变动状态。其中磷的释放和固定是两个对立

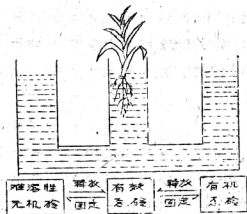


图3-3 作物吸收磷对土壤中磷的动态影响

矛盾的同一过程。矛盾暂时的同一就出现各种形态的磷。由于固定和释放两个对立的矛盾经常处于互相斗争中，于是各种形态磷就经常处于显著变动的动态平衡过程中，作物就是主动地从这种动态平衡中吸收它所必需的磷(图3-3)。

学习土壤中磷动态变化规律的目的，全在于应用到生产实践中去。因此，了解我省土壤中磷的形态特点及其转化规律是非常必要的。

表3-5 我省农场土壤各种形态磷占全磷量%  
(山西农学院 1962年)

组别	浸 提 液	磷的主要形态	各种形态磷占全磷%
全磷量	全部溶化	各种形态磷总量	100.0
第一组	0.05N 草酸	水与弱酸溶态速效磷	3.0
第二组	0.5N 醋酸	$Ca_3(PO_4)_2$	16.2
第三组	0.5N 盐酸	$Ca_3(PO_4)_2, CaX_2$	8.8
第四组	3.0N 氢氧化铵	有机磷化合物	6.8
第五组	不溶残余物	矿石态磷	65.1

从表3-5看出,我省石灰性土壤中磷的主要形态(占比例最大)是 $Ca_3(PO_4)_2$ 和矿石态磷。前者一般作物虽不易利用,但采取合理的农业措施或种植利用难溶性磷较强的豆科绿肥等,还是可以增加 $Ca_3(PO_4)_2$ 中磷转化为速效磷或有机态磷的,从而为提高磷的利用和循环创造有利条件。

### 第三节 磷肥及其施用

#### 一. 磷矿资源、生产概况和发展趋势

(一) 我国的磷矿资源: 磷矿资源主要有磷矿和磷质海鸟粪。

解放前,由于国民党反动统治和帝国主义掠夺,帝国主义分子和资产阶级学者,恶毒攻击我国磷矿资源极为贫乏,以便倾销产品进行经济侵略。只有解放后,在伟大领袖毛主席和党的英明领导下,全国人民坚持“自力更生”、“艰苦奋斗”的方针,经初步调查,我国磷矿资源极为丰富,不但储量多而且品质也好,是世界少有的磷矿。铁的事实彻底粉碎了帝国主义分子和



资产阶级学者的反动谬论。

据初步查明，我国磷矿资源遍及全国各地，据初步统计39处磷矿蕴藏即达50亿吨以上，占全世界磷矿蕴藏量的1/5。我国沉积的磷块岩矿床，主要集中在古老的地质层内，以海相沉积岩为主。已查明储量5000万吨以上的大型矿区有：云南滇中，贵州开阳，湖南沅陵石门，湖北襄阳。宜昌 鹤峰。孝感等矿区；中型矿区有：河南鲁山。淮南，安徽宿松，贵州遵义金沙，江苏锦屏，四川峨边等地。近年内蒙也发现最大的磷矿床。我省左权。五台山等地也发现磷矿。

天然磷矿主要分磷灰石和磷灰土。

磷灰石：磷灰石成份一般以  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaX}_2$  来表示，其中X代表F、Cl或OH等。自然界中多为氟磷灰石，属岩浆岩或变质岩。有青色、绿色或其它杂色。磷灰石极难溶解，肥效很低，不宜直接作肥料，只能作制造磷肥的原料。

磷灰土：又称磷块岩属沉积岩，主要成分为磷酸三钙  $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ ，并混有砂、粘土、碳酸钙等杂质，我国大部分磷矿属磷块岩。除可作制磷肥原料外，在一定条件下，也可直接作肥料。

(二) 磷肥生产概况与发展趋势：解放前在反动统治下，我国根本没有生产磷肥。解放后在毛主席和党的英明领导下，建立了许多现代化的磷肥厂，太原磷肥厂就是其中的一个。此外，全国各地还建立了许多中小型磷肥厂，我省不少县如沁县、沁县、高平、等县都有小型磷肥厂。

我国目前生产的主要是过磷酸钙，有的还生产重过磷酸钙。小型厂主要生产钙镁磷肥和过磷酸钙。目前除大力发展过磷酸钙生产，地方发展钙镁磷肥外，今后还要发展重过磷酸钙、高温磷肥以及用硝酸处理磷矿粉等生产，不久新型高效粒磷肥也

会发展起来。我省目前除生产过磷酸钙外，现正考虑生产钙磷砷肥。

过磷酸钙是世界上最古老的，目前仍占首要地位的砷肥。近年来已注重大力发展过磷酸钙、偏磷酸盐、脱氧砷肥、沉淀砷肥等。同时，各种复合砷肥也是重要的发展方向。此外，焦磷酸盐和液体砷肥等正在研究中。

## 二、砷肥种类、性质和应用

(一) 难溶性砷肥：难溶性砷肥主要包括砷矿粉、骨粉和砷质海鸟粪。其主要成分为  $Ca_3(PO_4)_2$ 。这类砷肥一般难溶解，弱酸性砷肥很少，属强酸溶性砷肥。它在酸性条件下逐渐释放出砷，故宜在酸性土上施用。在一般土壤上只宜用于根系分泌物较多，利用砷能力较强的作物地施用。只适于和有机肥堆腐后作基肥施用。

### 砷矿粉 [ $Ca_3(PO_4)_2$ ]

砷矿粉又称砷灰土粉，是砷矿岩磨细而成的。我国各地砷矿粉肥效和柠檬酸溶性砷多少有完全一致的关系。据试验其肥效趋势是：凤台 > 昆明 > 峨边 > 遵义 > 海州。但后效次序恰好相反，砷矿粉施用必须注意以下几点：

1. 细度：砷矿粉愈细表面积愈大，酸土上溶解度愈高。愈细和根系接触数量也愈高，通过根系分泌物作用提高其有效性。

2. 土壤酸度：在酸性土壤上施用，既提高了砷溶解度并增加了肥效，又降低土壤酸度改良酸土。因此，砷矿粉愈细，和土壤混合愈均匀，反应时间愈长，肥效愈大。所以，应作基肥早期（结合秋耕）施入。砷矿粉在我省土壤上肥效较差。

3. 作物种类：凡根系分泌物（酸和有机酸）愈多的作物或生育期，需钙较多的作物，对砷矿粉的利用就有所提高。总的情况是对豆科比禾本科作物肥效高，这就为种植豆科绿肥，依

土壤难溶性磷转变为有效磷并冲加氮素，开辟了主要途径。

4. 其他因素：磷矿粉与酸性、生理酸性肥料合用，磷矿粉和厩肥、泥炭、堆肥等混合堆腐既提高有机质量也冲加磷矿粉肥效。

### 骨粉的性质、加工和施用

据历史记载我国用骨粉作肥料是公元前一百多年，而国外1653年才知道用骨头做肥料，前后相差1700多年，这也是我国文化悠久的体现。

骨头含磷主要成分为磷酸三钙，难溶于水，肥效迟缓，其成分如表3-6。

成分	含量%
$Ca_3(PO_4)_2$	58-62
$Mg_3(PO_4)_2$	1-2
$CaCO_3$	6-7
$CaF_2$	2
有机物(脂肪与骨胶)	26-30
N(骨素中)	4-5

骨头含脂肪高是分解缓慢的主要原因之一。因此，未脱脂的生骨粉肥效远不及脱脂骨粉肥效高。所以骨头作肥料，应先脱脂、脱胶和粉碎。

1. 粗骨粉或生骨粉：粗骨粉是骨头经水煮熟去部分脂肪晒干磨碎而成的。生骨粉是骨屑直接磨碎而成的。这类骨粉肥效低，含N3-5%， $P_2O_5$  20-25%。

3. 蒸制骨粉：骨头置于蒸汽锅内，通入2-4个大气压的蒸汽，经2-4小时将骨头松软，然后晒干磨细即得成品。其含N3.5-4%， $P_2O_5$  18-22%，肥效较粗骨粉高。

4. 脱脂骨粉：骨胶厂用更高热力，充分脱脂和脱胶后晒干磨细而成的。含N1%， $P_2O_5$  28-34%，肥效较高。

我省许多地方群众用土法脱脂脱胶后制成骨粉。晋城西大

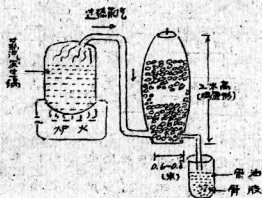


图3-4 晋城五七骨肥厂  
系骨粉装置

阳公社五七骨肥厂，每炉装 700—800 斤骨头用过热蒸汽蒸制 4—5 天，每百斤骨头可出 5 斤骨油和 15 斤骨胶。骨头蒸松软后，晒干碾细即成骨粉。

还可采用更简便的办法处理，把骨头碾细和有机肥堆腐发酵，或

将碾细的生骨粉与肥土、草木灰混合堆积，经常加入污水，经微生物分解脂肪，这样堆腐数月，肥效也可提高。

商品骨粉为灰白色分散性良好的粉末， $P_2O_5$  含量 30% 左右。骨粉性质与磷矿粉相似，但肥效比磷矿粉高，用法可参议磷矿粉。

### (二) 弱酸与柠檬酸铵溶性磷肥：

这类磷肥包括：脱氟磷肥，熔成磷肥，钢渣磷肥，钙镁磷肥，沉淀磷铵钙和偏磷酸盐等。成分复杂，但肥效较高。碱性的宜作基肥，适于酸土。中性或微碱性的除作基肥外还可作种肥（沉淀磷酸钙），在中性或石灰性土壤上肥效较差。

#### 钙镁磷肥

钙镁磷肥是中、小型磷肥厂生产的一种熔成磷肥，属柠檬酸溶性碱性磷肥。生产原料广，成本低，设备简单（小高炉），生产快，产量大，在我国磷矿区得到大力发展。我省为解决硫酸不足的矛盾，也考虑生产这种磷肥。生产简要流程如下：



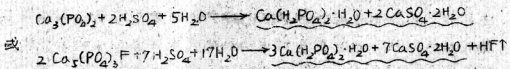
含镁矿物有：橄榄石、蛇纹石、白云石等。

钙镁磷肥为灰白、绿色或褐黄色的玻璃质细粒或粉末。不吸湿结块，不腐蚀包装，便于保存施用。化学成分极复杂可能是： $\alpha\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7 + \text{Ca}_3\text{MgP}_2\text{O}_9 + \text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$  等硅酸盐磷酸盐组成。因难溶于柠檬酸故易被作物利用减少固定，适于酸土肥效与过磷酸钙相似。石灰性土壤很少应用，研究不多肥效还不清楚。据河北芦台农场1958年小麦试验相当于过磷酸钙肥效的85%。肥效不及过磷酸钙。在石灰性土壤上，应和有机肥堆腐后作基肥，不宜作种肥或追肥。

(三) 水溶性磷肥：包括普通过磷酸钙、重过磷酸钙和氯化过磷酸钙等。属水溶性能被作物直接吸收利用的磷肥。其特点是水溶性易固定，流动性差。为了提高肥效，必须注意减少与土壤接触面和提高与根系接触面。可作基肥、种肥和追肥，适于任何土壤，但更宜于在石灰性土壤或硷性土壤上施用。

### 过磷酸钙与重过磷酸钙 [ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ]

过磷酸钙又称过磷酸石灰，目前是我国与我国最主要的磷肥。制造简要过程：磷矿粉或骨粉磨细过筛后，加入适量浓度为57-67%的硫酸进行搅拌，主要反应如下：



HF有毒气体导入石灰水或制成磷酸钠杀虫剂。将反应完全移入化成室继续反应熟化，然后干燥磨碎，过筛即得普通

过磷酸钙。

(一) 性质：过磷酸钙一般为灰白色或褐色粉末状或制成颗粒状。成分很复杂，主要成分为水溶性磷酸一钙  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$  和水难溶性硫酸钙（即石膏  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ）的混合物。有效磷酸  $(P_2O_5)$  含量为 14—20%。最常见的为二级品 16—18%（一级品 18—20%，三级品 14—16%），太原磷肥厂产品多为二级品。因有效成分  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$  (30—50%) 属水溶性的，而付成分石膏  $CaSO_4$  (40%左右) 属水难溶性的，如露天堆放不加遮盖，任其风吹日晒雨淋，表面上看不出多大变化，实际有效的磷酸一钙多被淋失，只剩下成分石膏了，肥效显著降低。这是目前磷肥贮存上容易被忽视的关键问题。因为有人误把残留的石膏当作磷肥，不仅对农发生问题，而且施入土壤后，虽经数月甚至一年以上扒开土壤仍有灰白色残渣，就误认为磷肥没有作用或误认为过磷酸钙是作物不能直接利用的迟效肥料等。这都是只看到现象没有抓住本质的片面认识。

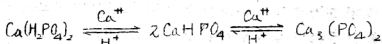
过磷酸钙水溶液呈酸性反应，因为  $H_2PO_4^-$  电离产生  $H^+$  和含游离磷酸与硫酸的缘故。由于含游离磷酸高达 5—5.5%，使过磷酸钙物理性状显著变坏，具有吸湿结块性和腐蚀性，同时潮解亦使有效磷退化为无效态，因此，贮存时必须防止潮解和腐蚀。因含游离酸和大量石膏  $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$ ，所以在硷性土壤上施用有良好效果。由于石膏中含有大量  $SO_4^{2-}$ ，所以对喜硫的作物如大豆、苜蓿、花生等豆科和十字花科作物有良好效果。

重过磷酸钙：先用酸处理磷矿粉制成磷酸，然后再用浓缩的磷酸处理精制过的磷矿粉即得含磷量高达 46—48% 的重过磷酸钙。一般为灰白色颗粒，主要成分为  $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ ，不含石膏，很少杂质，但仍含 4—8% 的游离磷酸，溶于水其水溶液呈酸性反应。吸湿性和腐蚀性都比过磷酸钙强。因含杂质

少贮存时有效磷退化也少，但在土壤中固定则较强，故多制成颗粒。其优点是含杂质少，含磷高，便于远程运输。其缺点是制造较繁，成本高。其它都与普通过磷酸钙相似。

(二) 在土壤中转化：过磷酸钙（包括重过磷酸钙，下同）的肥效，除决定了本身性质外，还与施入土壤后的转化、移动、作物利用特点等密切相关。

1. 转化与固定：过磷酸钙施入石灰性土壤后，在土壤溶液中  $Ca^{++}$  离子、土壤吸附态  $Ca^{++}$ ，以及土壤中  $CaCO_3$ 、 $Ca(HCO_3)_2$  等作用下，使水溶性  $Ca(H_2PO_4)_2$  转化为水难溶性  $CaHPO_4$  与  $Ca_3(PO_4)_2$  细分子态沉淀，降低了有效性。但在微生物和作物根呼吸产生的碳酸和有机酸作用下，以及有机肥料分解产生的碳酸和有机酸作用下，也能使细分子态  $Ca_3(PO_4)_2$  沉淀等转变为  $CaHPO_4$  与  $Ca(H_2PO_4)_2$ ，提高有效性。



在强石灰性土壤上和反应时间较长时，还可能使过磷酸钙中磷逐渐转变为作物几乎不能利用的磷酸灰石、氢氧磷灰石和碳酸磷灰石等。

据我们历年在太谷石灰性（含  $CaCO_3$  5—8%）土壤上试验证明，过磷酸钙施用后有明显的固定。例如，在含  $CaCO_3$  5.3% 的粉砂壤土上，施入过磷酸钙相当于每公斤土 0.2 克  $P_2O_5$ ，35 天内过磷酸钙转化为各种形态：

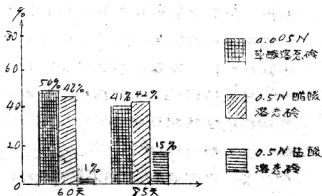


图3-5 过磷酸钙施入土壤后转化各种形态的百分数 (1963年, 由本)

数量如图 3-5。

图 3-5 注：

从试验得出，25天内大部分磷仍保持在作物易于利用的第一组和较难利用的第二组状态。只有时间较长时，才逐渐向作物几乎

0.005N 草酸溶解磷：磷金属、铝的磷酸盐，钙、镁一代与二代磷酸盐。

0.5N 醋酸溶解磷：主要为钙、镁三代磷酸盐，如  $Ca_3(PO_4)_2$  等。

0.5N 盐酸溶解磷：主要为磷灰石类，如  $3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaX_2$  等。

不能利用的第三组磷转化，因此认为过磷酸钙施入土壤后立即转化为作物不能利用者是错误的。一般土壤  $CaCO_3$  含量愈高，质地愈细，作用愈久则固定愈强。磷肥用量增加，磷固定量也有增加，但保持在有效态磷更多。因此，集中施磷肥对局部根层保持较高量有效磷是有利的。

酸土施过磷酸钙后，磷的固定随酸度、游离铁铝离子与温度的增高而增加。同时还可能有阴离子代换固定。因此酸土施过磷酸钙前，应先施石灰中和酸性和沉淀铁铝离子，以提高磷肥的有效性。

2. 移动性：由于过磷酸钙中磷易于在土壤中固定，因而就降低了磷在土壤中的移动性。我们 1956 年颗粒磷肥试验和 1962 年相当于前施 200 斤过磷酸钙的田间试验都证明了这点。

从图 3-6 看出，颗粒磷肥 20 天内在土壤中自由扩散仅 1—3 厘米。3—5 毫米粒粒磷肥仅能扩散 1 厘米，7—9 毫米粒粒磷肥扩散也不超过 3 厘米。图 3-7 表明在田间条件下试验，每亩施过磷酸钙高达 200 斤，经过 15 天并灌水三次，向上向下移动距离也仅 2—4 厘米，因此在一般施肥量条件下，企图经过灌溉把表施的过磷酸钙淋灌到土壤深层的可能性也是不大的。除非土壤质地粗， $CaCO_3$  含量较低，施肥量很高和化



学固定不明显时才有可取。

3 提高磷的利用率：为了减少磷的固定，就要尽量降低可溶性磷肥和土壤接触面，要求磷肥集中施用，因磷的固定移动性降低，所以要使根系充分接触磷肥，提高吸收机率，则要求磷肥适当均匀分布。这两个集中和分散的矛盾在“一定条件下，一方面互相对立，一方面又互相联结、互相贯通、互相渗透、互相依赖。”为了将这两个对立矛盾统一在提高磷肥有效性总目标下，施水溶性磷肥时要求，把磷肥集中施于作物根际附近土层内，在此范围内适当均匀分布，以维持根系周围适当磷酸浓度，减少磷的固定，从而提高磷肥的有效性。

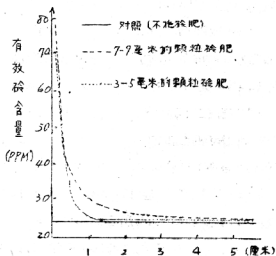


图3-6 施颗粒磷肥20天内磷的扩散距离。  
(山西农学院 1956年)

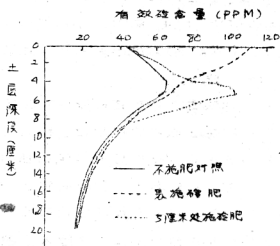


图3-7 45天内灌水三次后过磷酸钙的移动性。  
(山西农学院 1962年)

(三) 提高过磷酸钙肥效的措施：过磷酸钙可作基肥，种肥和追肥，也可以作根外追肥。

1 酸土改良与过磷酸钙中和：酸土施用过磷酸钙前应加石灰改良酸土，同时也应加适量草木灰或磷矿粉中和过磷酸钙中的游离酸后施用，土壤酸度愈大加磷矿粉比例愈多。

在石灰性土壤上施用过磷酸钙应防止加草木灰或石灰等。只有作种肥当游离酸过大时，为防止对种子发芽影响，才允许加少量草木灰中和过量的游离酸。过磷酸钙一般不宜作种肥，如必须作种肥时，用量要少（3—7斤/亩），最好先加少量草木灰中和游离酸，以免影响种子发芽，造成缺苗断垅。

2 颗粒肥料应用：过磷酸钙制成颗粒目的为了降低其与土壤接触面，减少固定，在颗粒周围形成磷酸扩散层，为根吸收磷和微生物发育创造良好条件。据国内、外，我省和我们历年试验证明，颗粒磷肥虽降低磷的固定，但增产效果确不一定比粉状优越。因粒状磷固定少，但与根系接触面也少，吸收率降低，粉状磷固定虽多些，但与根系广泛接触，吸收效率提高。因此，在磷固定不太强的石灰性土壤上，施用颗粒磷肥没有多大的优越性。只有在强石灰或强酸性土壤上，磷固定较强的情况下，颗粒磷肥仍有应用价值。

3 混合肥料的应用：过磷酸钙和有机肥料，氮肥混合或配合施用是提高其肥效的重要措施。1959—1961年在秋院农场缺磷和氮相对丰富的土壤上进行的试验证明，过磷酸钙和有机肥料，氮肥混合施用，磷的固定显著减弱，并促进作物对磷的吸收和利用，同时加强根系发育（图3-8），干物质积累，并对产量形成结构有良好影响，最后使小麦获得显著的增产。

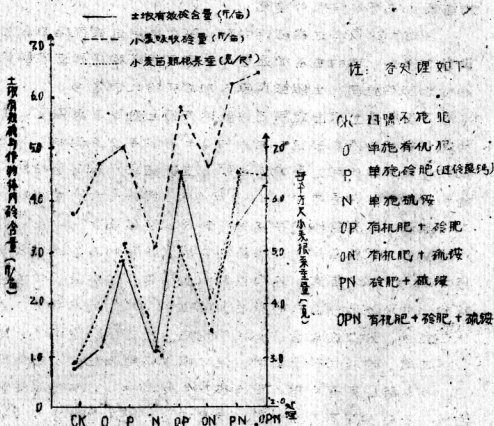


图 3-8 不同处理对土壤有效碳、小麦吸收碳量和根系发育的影响。  
(山西农学院 1959年)

因为有机肥与磷肥混合，使水溶性磷肥紧密吸附在有机碳团块上，降低磷和土壤的接触面积，减少了固定，混合磷肥的有机肥在根区范围内撒布均匀，提高根系吸收磷的效率。同时在有机肥与硫酸影响下，不仅改善氮与其它综合营养条件，而且在硫酸的生理酸性、盐溶作用、有机质分解的碳酸、有机酸以及有机胶体吸附土壤崩解等因素影响下，降低磷的固定，提高了磷肥的有效性。因此，在我省缺乏有机质和氮的石灰性土壤

上，这种混合施肥法对提高磷肥肥效和农作物产量方面，具有非常现实的意义。

根据英雄大寨人经验，磷肥与有机肥混合加水调成糊状，堆腐30—40天，既能让腐熟又能提高磷肥肥效，施用前捣烂作为基肥，尤其作为种肥均匀混入5—10%的氮肥更有良好的效果。磷肥与有机肥混合堆腐时，过磷酸钙混入量可达有机肥的5%左右，如超过10%影响腐熟。这类混合肥料与颗粒磷肥肥效相似或略超过，而且经济、省工、简便，是值得推广的方法。

但有人认为过磷酸钙为迟效肥，不和有机肥堆腐发酵就无效的看法，无论从理论上或实践上都无法得到证实。为此，我们在1961—1963年进行了一系列田间与盆栽试验都无益获得证实。

表3-6 磷肥不同混死方法对磷肥肥效的影响  
(山西农学院 1961—1963年)

处 理	土壤有效磷 (PPM)		植株体内含磷量 (%)		小麦产量 (斤/亩)	
	1962	1963	全磷 %	水溶性 %	1962	1963
对照 (无肥)	12.2	4.8	0.44	0.22	627.9	386.6
有机肥+磷肥 (临时混合)	14.6	10.9	0.60	0.24	689.8	492.6
有机肥+磷肥+粪肥 (临时混合)	14.6	10.9	0.57	0.28	694.8	504.4
有机肥+粪肥+磷肥 (作成颗粒)	14.8	14.4	0.48	0.28	687.1	507.2
有机肥+磷肥混合堆腐 (临时加入氮肥)	15.0	8.2	0.49	0.24	656.5	498.6

因此，我们认为腐熟的有机肥与过磷酸钙临时混合或混合

后堆厩施用都是可以酌。

4 过磷酸钙的集中施用：施磷肥时必须减少磷肥和土壤的接触面，又要尽量接近作物根系，同时还应依各种作物不同生育期根系延伸深度来施磷肥。因此局部分层施用对作物苗期与中后期磷营养都有重要的意义。浅施苗期虽可获得良好的磷营养，但对中后期磷营养不利。深施恰好相反，如磷肥用量每亩不超过 30 斤，应该和腐熟的有机肥充分混匀，作为种肥，必要时混入少量粪肥，浅施于 5—10 厘米的土层内，集中条施或穴施于播种沟穴内，并适当翻土与种子隔开，以保证作物苗期良好的磷营养，促进根系发育，为作物中后期利用土壤潜在磷创造良好条件。如过磷酸钙用量超过 30 斤或 50 斤时，应该可出一部分和有机肥混合作为基肥深施于 15—20 厘米左右土层内，以满足作物中后期营养。如磷肥用量达百斤左右时，应该 1/3 浅施 2/3 深施，这样无论苗期或中后期都能获得良好的磷营养。如磷肥用量过少，每亩不超过 10 斤时，为了提高肥效，必要时还可经过中和将磷酸后拌种子，或磷肥作成颗粒与种子混播，拌种必须用量少，以免造成烂籽、烂芽、缺苗断垅，这是应该特别注意的问题。

过磷酸钙作为追肥必须集中深施到作物根际区范围内，任何情况下都不允许撒施地表，应该特别注意。但作为追肥肥效一般不及种肥和基肥，尤其是不如种肥。这对密植作物更是这样。

5 根外追肥：为了减少磷的固定，及时满足作物对磷的特殊需要，根外追磷肥也是提高磷肥肥效的有力措施之一。前期磷营养不足，中后期根部追磷肥有困难时，根外追磷肥对作物后期物质转化、转移和合成有重要作用。如对谷类作物籽粒饱满，品质改善；棉花减少脱落，增产和品质改善都有良好效果。

但根外追肥只是辅助性方法，不能代替根部追肥。为了节省劳力，根外追肥可与喷杀虫、杀菌剂结合进行。但要熟悉药剂性质，防止游离酸和钙离子对乳化剂破坏或提高药剂降解度发生药害或降低药效等。

根外追肥方法：把过磷酸钙浸泡在水中经过一夜并搅拌数次，滤去石膏等杂质，再稀释成1—3%的溶液即可使用。一般单叶作物浓度可高些，苗期稀些，中后期可浓些。如与农药混喷时浓度也应稀些。动力或飞机喷雾时，雾滴很细每亩用50—60斤溶液即够，这时浓度还可高达5%以上。

以上几种施磷肥措施，应根据当地条件和农业生产情况进行选择或互相配合。目前我省以磷肥和有机肥混合或混合后堆腐，临用前混入速效氮肥作为种肥条施或穴施，用量大时分层施用，并辅以后期根外追肥，比较经济而有效。至于生育期根部追肥依情况而定。

过磷酸钙用量依作物种类、产量水平、土壤供给能力和氮磷相对供应水平等不同。在我省目前农业生产条件下，以亩施50—100斤为宜。磷肥不足时可亩施10—30斤作种肥。拌种、沾秧根等以5—7斤为宜，不能过多。至于丰产田或磷肥充足而土壤又缺磷时，亩施100斤以上也是必要的。

一般情况下，过磷酸钙不宜和草木灰、石灰等混合施用，以免降低肥效。宜与速效氮肥合用，但不宜与硝态氮合用，尤其不能过早的混合，以免引起氮素损失，降低肥效。

#### 第四节 磷肥的有效施用

根据大寨科学种田的经验，磷肥顶争不顶争，关键在于“巧用磷肥”。磷肥用法好，效果就明显。有磷肥的作物，庄稼根子

扎的深，铺的广，秸秆硬，抗风抗倒，特别是籽粒饱满。只有通过“实践，认识，再实践，再认识”这样多次反复，才能找出合理地用砒肥的有效办法。

### 一、作物种类与砒肥肥效

我省试验证明，不同农作物在农家厩肥上冲施砒肥效果很不一致。对小麦、玉米较好，高粱、谷子、荞麦肥效较差，对棉花增产稳定，但增产幅度不大；对麻类增产显著而稳定。如长治小宋大队大面积示范中发现，砒肥促进幼苗生长健壮，提高麻皮产量与品质，增产麻皮30%。豆科作物大豆、豌豆与豆科绿肥施砒肥都有明显的增产效果，施砒肥尤其与氮配合，显著增强根系发育，提高根瘤固氮和亩产量，首播施砒肥增产率154.4%，对甘薯和马铃薯也有明显增产效果。群众反映，施砒肥表面上无大变化，但挖薯时产量高，薯块大，品质好。

其他各省砒肥肥效，对各作物反应趋势和我省基本一致。砒肥对豆科作物大豆、花生、蚕豆、豌豆、绿豆、草木樨、紫云英、苕子等肥效最显著，群众反映亩斤足砒酸钙能增产二斤豆子，经济效益最大。同时，砒肥对油菜、甜菜、萝卜、胡萝卜、番茄、西瓜、黄瓜、浆果类、多年生果树、橡胶树、茶树等肥效也很好。对谷类作物肥效一般不如前者，但砒肥对小麦、玉米、荞麦、大麦等肥效又比其他谷类作物好。河北省试验，砒肥对棉花经济效益较大，有人提出，砒肥对所有越冬作物增产都较显著。

从上述试验来看，目前我省砒肥应首先用于棉、麻、豆类及绿肥、油料作物地里，其次薯类与果树；谷类作物则应把小麦、玉米放在首要位置，其它粮食作物可放在次要地位。

为什么不同作物对砒肥反应很不一致呢？如果不研究矛盾的特殊性，就无从确定一事物不同于他事物的特殊的本质：

就无法通过现象揭发它的本质。如联系“作物磷素营养”来学习，就会对不同作物对磷肥反应差异明显的原因有深刻的理解。

1 磷对蛋白质形成有利。故含蛋白质高的豆科施磷肥效果明显。同时，磷能促进油脂形成。许多油料作物：大豆、花生、油菜等施磷肥效果也很好。磷促进糖合成、水解和转移，故棉、麻、薯类、甜菜、瓜果等施磷肥也较好。

2 磷促进根瘤形成和固氮作用，改善氮素营养。一般根瘤固氮可满足豆类  $2/3$  氮素要求，故施磷肥不仅改善磷营养，还能改善氮营养，所以豆科作物与豆科绿肥施磷肥非常经济而有效，起到以“小肥养大肥”，“以磷换氮”的作用。

3 根系分泌物与磷肥反应：凡是根系代谢过程旺盛，分泌碳酸和有机酸多的对磷肥反应也较强。如甘薯、豆类根系酸度为 5.6，玉米为 5.8，马铃薯是 6.0，燕麦是 6.4，小麦 6.8 等，酸度值愈小，对磷的利用能力愈强。

4 凡是吸收磷较强的作物，对磷的吸收力也强。作物体内  $CaO/P_2O_5$  比值愈高，施磷肥增产效果愈大。如玉米是 1.8，而豌豆 2.3，施磷肥豌豆比玉米增产大。

二 作物生育期对磷肥反应：作物苗期根吸收能力较弱，但前期生活力强，根系迅速生长对磷要求迫切，尤其种子较小的作物苗期对缺磷的敏感性最强。因此，保证苗期充足磷营养对根系发育，早期体内累积较多量的磷，为磷的反复再利用和后期磷营养创造有利条件。所以磷肥作种肥有良好效果。中期主要靠基肥和土壤潜在磷来满足，这时虽需较多量的磷，但生育盛期根吸收磷能力较弱。后期磷对物质转化、转移与合成起重要作用，但根吸收能力降低，主要靠体内累积磷再利用来供应，如感不足可通过根外追肥来补充。

三、产量水平与磷肥肥效：每产百斤农产品从土壤中带走



的磷量是各不相同的，主要决定于作物种类、有效农产品比例、产量水平和相关的栽培和农业技术条件等。一般产品愈高带走磷量愈多。如不补施磷肥，土壤中磷尤其有效磷量就逐渐消耗而下降，对磷肥的反应就会愈来愈明显。这在我们历年的磷肥试验中都获得证明，例如，首茬茬与豆茬后施磷肥较施氮肥还要明显。61—63年在年亩产400—700斤小麦和200—300斤谷子情况下，有机肥4000斤/亩和硫酸12—13斤/亩的处理只比对照增产21.2%，在此基础上增施50—54斤过磷酸钙增产率即达30%左右。而且开始试验时土壤有效磷为15.9PPM，经过二年试验结束时，对照有效磷下降到1.5PPM，只施有机肥者下降到6.0PPM，在此基础上而每年增施50—54斤/亩过磷酸钙的各处理有效磷13—18PPM，基本维持原来土壤有效磷水平。因此，只施有机肥和氮肥在低产条件下可能不会有很大问题，但在高产即年亩产超过500斤甚至千斤以上时，不施磷肥产量继续提高就受到限制，即使最近1—2年获得高产也要引起土壤中磷严重消耗，有效磷显著下降，以后磷的不足就可能成为产量连续上升的限制因子，对磷肥的敏感性就愈来愈明显。这是目前农业生产上应该注意的问题。据山西土肥所调查，在低产条件下施氮肥效果明显，但随着产量水平的提高，单施氮肥的增产幅度逐渐下降，甚至单方面增施氮肥还会导致减产。磷肥在低产条件下远不及高产条件下增产显著。例如，亩产水平100—200斤（粮食）条件下，每斤过磷酸钙增产小麦0.47斤，玉米0.37斤，籽棉0.46斤；亩产水平400—500斤以上时，每斤磷肥增产小麦1.1斤，玉米0.93斤，籽棉1.6斤。因此，我们认为在产量低的条件下，主要矛盾是氮素不足，高产条件下矛盾即开始转化，不仅氮不足而且磷的不足就成为产量继续提高的限制因素。

表3-7 玉米不同产量条件下氮磷钾肥效比较

(山西土肥所 1961-1963年)

产量水平 (斤/亩)	每斤肥料增产斤数			每斤有效养分增产斤数			每斤养分最高增产斤数		
	N肥	P肥	K肥	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
200-300	3.52	-	0.73	17.16	-	1.61	30.23	0.35	1.85
300-400	1.68	-	-	3.34	-	-	8.67	3.00	-
500-600	1.13	0.84	2.26	5.67	6.00	5.00	5.67	6.00	-
700-800	2.13	1.01	-	10.67	7.17	-	13.61	12.33	21.60
800斤以上	3.06	1.56	-	15.32	11.11	-	21.83	16.92	7.65

所以，他们认为玉米在200-400斤/亩之间氮肥的经济效果较高，500-800斤/亩以上，磷肥的经济效益较好。从谷子来看，200-300斤/亩时氮肥效果最为明显，800斤/亩以上时磷肥效果突出，钾肥以300-500斤/亩中产水平效果较好。

四、土壤条件与磷肥肥效：根据各地试验和生产实践证明磷肥肥效和土壤条件有密切的关系。除与土壤各种性状有关外，影响磷肥肥效最主要的是土壤有效磷供应水平和土壤有效磷与有效氮含量的相对变化。

1. 土壤有效磷含量：土壤有效磷含量和磷肥肥效关系极为密切。但以有效磷含量多少来判断施用磷肥的必要性是相当困难的，因为这涉及到作物种类、产量水平、土壤中各种养分平衡关系以及相关的农业技术条件等等。同时，土壤有效磷含量也随季节变化，因此，仅用土壤有效磷含量来判断施用磷肥的必要性是不现实的。虽然如此，但我们综合国内外和我们历年试验结果，结合我省目前一般生产反应，初步提出如下指标以供参考。

表3-8 土壤有效磷含量与施磷肥的反应

土壤有效磷(P)含量 (PPM)		蕃茄幼圃法(植株干重) 缺磷占正常营养植株干重%	施磷肥的反应
1% (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 抽取液	0.5N NaHCO <sub>3</sub> 抽取液		
< 10	< 5	< 50	极强
10-20	5-10	50-75	较强
20-30	10-20	75-100	中等
> 30	> 20	> 100	弱或极弱

我省土壤用1% (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>抽取液所提取的有效磷含量多在5-25 PPM范围内, 按上述指标判断, 施磷肥应该有较强和中等反应, 但实际生产上并不完全是这样, 有的看来土壤有效磷含量不高, 但施磷肥效果并不明显, 这是由于土壤含氮量更为不足, 因而单施磷肥也就得不到应有的效果。

2. 土壤有效氮磷相对含量与磷肥肥效: 单从土壤有效磷含量来判断磷肥肥效是不够的, 因为我省土壤有效磷含量虽感不足, 但土壤中氮素更是不足, 无论全磷或有氮磷都比全氮或有效氮相对较多, 更何況作物需要氮量远多于磷, 因此, 一般施磷肥不及氮肥明显, 只有氮磷肥配合, 磷肥效果才为显示出来。

表3-9 氮磷肥配合对磷肥肥效影响 (晋东晋南材料)

处 理	玉 米		谷 子		麻	
	产量斤/亩	增产%	产量斤/亩	增产%	产量斤/亩	增产%
对照	702	—	220.5	—	125.5	—
氮	756	9.1	237.7	30.2	135.4	21.7
磷	726	3.0	231.1	5.1	—	—
氮磷	830	16.6	293.8	53.8	165.4	55.3

但是在豆茬或豆科绿肥牧草以后, 土壤中氮相对丰富而有效磷严重不足的情况下, 施磷肥远较氮肥明显。例如, 我们在苜蓿茬后, 土壤水解氮46.2 PPM, 而有效磷仅2-6.0 PPM,

种小麦单施磷肥增产 16.2%，单施氮肥反而减产 2.5%，氮磷肥配合增产 22.7%，另外在土壤水溶氮 47 PPM，有效磷 20 PPM 左右的条件下盆栽春大麦，单施磷肥增产高达 31%，单施氮肥反减产 0%，从上述试验证明，磷肥肥效不仅决定于土壤中磷供应水平，而且与氮供应水平是密切相关的。至于维持作物增产的氮磷比例，既决定于作物氮磷营养，也决定于土壤氮磷供应水平。

表 3-10 氮磷肥配合比例对产量影响  
(山西农学院 1963-1965年)

处 理	纯肥比例	各种养含量%		产量变化 (1963-1964)				小麦产量 斤/亩 (1964-1965)
	N:P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	N	P	增产 斤/亩	减产量 斤/亩	合计 斤/亩	增产 %	
对 照 (不施肥)	—	1.54	0.190	397.7	139.7	539.4	100	442.8
有机肥+N <sub>2</sub>	1:0	1.81	0.154	480.4	136.5	616.9	121.0	536.4
有机肥+N <sub>2</sub> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 4	1:0.5	1.93	0.155	494.1	162.6	663.3	125.0	565.0
有机肥+N <sub>2</sub> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 8	1:1	1.83	0.140	507.3	145.2	653.0	127.0	522.6
有机肥+N <sub>2</sub> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 16	1:2	1.71	0.185	561.6	156.7	718.3	141.0	631.2
有机肥+N <sub>2</sub> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 24	1:3	1.74	0.190	559.3	173.8	733.1	140.0	579.4
有机肥+N <sub>2</sub> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 48	1:6	1.71	0.215	565.9	152.1	718.0	141.0	633.6
有机肥+N <sub>2</sub> +P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 96	1:12	1.82	0.210	557.2	153.2	710.4	140.0	590.2

从表 3-10 资料及其他性状综合看出，在土壤含氮 0.093% 和有效磷 8.3 PPM，亩施有机肥 1000 斤基础上，冬小麦以 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 1:2 增产显著，经济效益也大。1:0、1:0.5、1:1 处理中土壤有效磷增产不显著，增产幅度也不大。1:3、1:6、1:12 中土壤有效磷和作物体内磷都相应提高，但对产量和品质影响不大。在土壤含氮 0.09% 和有效磷 20 PPM 的大麦盆栽试验中也获得类似结果。而晋南西山分所和晋东南农科所玉米则以 3:1:2-3

为佳；大同农科所春小麦也以3:1:2为最好；晋南棉科所棉花又以1:1:1和2:3:2为好。可见适宜的氮磷比例不是固定不变的，和作物种类、产量水平、历年元机氮磷肥施水平、土壤肥力状况等有密切的关系。需要进一步认真地进行研究，为合理施肥提出创造性的建议。

据山西土肥所调查，我省不同地区磷肥肥效反应很不一致。一般晋东南尤其中南部各县，磷肥效果显著；晋南、晋中、忻县等有灌溉条件的地区也有增产效果；晋北、晋西北、吕梁西部山区以及部分丘陵旱地区，磷肥效果都不大明显。这和土壤肥力条件、产量水平以及历年施肥状况等有密切的关系。所以在土壤氮少磷相对较多时，首先应施氮，只有氮供应水平提高情况下，施磷肥才有效，氮少氮多时只施磷肥也会有效。而我省大部分作物和地区，应该注意氮磷肥密切配合，以保证作物产量与土壤肥力进一步提高。

五、磷肥形态及其肥效：水溶性磷肥适于所有作物与土壤，特别适于中性、微碱性石灰性土壤和盐碱土。在强酸性土壤上肥效有时还不及弱酸溶性磷肥。水溶性磷肥施入土壤即溶于土壤溶液供作物与微生物吸收利用，但也易被沉淀固定，移动性较小，施肥要求可参见过磷酸钙。

表3-11 常用的磷肥简述

肥料名称	主要化学成分	溶解状态	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 含量(%)	主要性质	施用特点
磷矿粉 (磷灰土粉)	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	难溶	14-25	灰、褐或黄褐色。迟效。粉末状，磷性有吸湿	适于酸土或吸收磷强作物，与有机肥堆腐作基肥。
磷质油鸟粪	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	难溶	13-25 含N1%	形成禽粪。迟效	堆腐后作基肥。适于酸土

(续下页)

(表3-1 续)

骨粉	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	难溶	20-35 含N 2-4%	速效, 比磷矿粉肥效稍高, 兼骨粉比生骨粉好。	堆腐后作基肥, 适于酸土, 中性土。
沉淀磷酸钙 (沉淀磷酸)	$\text{CaH}_2\text{P}_2\text{O}_7$	弱酸溶	31-35	不吸水, 有良好分散性, 易利用不易流失, 效长。	适于作基肥, 种肥, 适于酸土, 酸土上肥效好。
脱氧磷肥	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_7$	弱酸溶	18-30	灰白色或粉红色粉末, 易利用, 硷性。	适于酸土, 作基肥。
磷酸钙肥	$\text{Ca}_3\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 或 $\text{Ca}_3\text{K}_2\text{P}_2\text{O}_7$	弱酸溶	18-21	硷性, 不吸湿结块, 与钼渣磷肥相似。	适于酸土, 堆腐后作基肥。
钼渣磷肥 (汤姆斯磷肥)	$\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_7$	弱酸溶	14-18	黄褐色, 半溶性, 硷肥硷性, 含 $\text{CaO}$ 25-55%	适于酸土, 宜与有机肥堆腐作基肥。
钙镁磷肥	$\frac{1}{2} \cdot \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ + $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_7$ + $\text{Ca}_3\text{MgP}_2\text{O}_7$ + $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$ $\text{P}_2\text{O}_5$ 等	弱酸溶	18-21	灰白, 绿色, 黄褐色玻璃质, 物理性好, 施用方便。	适于酸土或中性土, 作基肥, 追肥均可, 以基肥较好。
偏磷酸盐	$\text{KPO}_3$ $\text{NaPO}_3$ $\text{NH}_4\text{PO}_3$ $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$	柠檬酸 转溶性	60-70	微黄色玻璃状小颗粒, 易利用, 物理性好。	肥效缓慢而持久, 宜作基肥, 适于酸土。
普通过磷酸钙 (过磷酸石灰)	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7) \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	水溶性	14-20	灰白色粉末, 速效, 酸性, 含游离酸, 易吸湿结块。	适于各种土壤, 宜作基肥和种肥, 也能作追肥。
重过磷酸钙	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	水溶性	14-18	酸性速效, 灰白色吸湿性强, 多作颗粒。	适于各种土壤, 同过过磷酸钙。
氯化过磷酸钙	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ $\text{CaH}_2\text{P}_2\text{O}_7$ $\text{CaSO}_4$	水溶性 弱酸溶	13-20 含N 2-8%	速效, 物理性好, 无游离酸, 中性。	全上, 含N, 为复合磷酸肥, 肥效高。

难溶于水但易溶于柠檬酸或柠檬酸盐溶液的磷肥，易被作物利用，被土壤固定比水溶磷肥弱，肥效较长。这类磷肥是除各种土壤和作物都能施用，但一般适用于中性或酸性土，在石灰性与硷性土上肥效较差。在强酸性土壤上，这类磷肥比水溶磷肥还好。其中硷性磷肥如钼渣磷肥、熔成磷肥和钙镁磷肥更是这样。沉淀磷酸钙、脱氧磷肥和偏磷酸盐虽适于硷土，但中性与石灰性土壤上也可应用。这类磷肥移动性很小，因此集中均匀施于根际土壤是很重要的。这类磷肥和有机肥混合堆腐后施用较好，作追肥。效缓慢放效果较小。除沉淀磷酸钙、脱氧磷肥可作种肥外，其他硷性磷肥不能作种肥，以免影响种子发芽和幼苗生长。

难溶性磷肥在中性与石灰性土壤上，几乎不能为大多数作物利用。只宜于和有机肥料混合堆腐后作基肥施用，最好与水溶性磷肥作种肥配合分层施用，而且只宜用于利用磷能力强的豆科作物或绿肥。而对各类作物肥效很小。这类磷肥在硷土上施用宜于秋耕时与土壤均匀混合施用，以促进溶解，提高其有效性，其它同磷矿粉。

为了有效地施用磷肥，必须综合考虑作物、土壤与肥料这三者之间的辩证关系，而且也要考虑气候、农业技术条件等因素。施磷肥是否有效或效果大小是由各方面因素决定的，应该分析矛盾，通过现象看本质，解决影响磷肥肥效的主要矛盾，主要矛盾解决了就能合理地有效地施用磷肥，为农作物持续丰产提供有利条件。

## 第四章 钾素营养与钾肥

### 第一节 钾素营养

毛主席教导我们：“人们的思想必须适应已经变化了的情况。”过去认为我国土壤钾较丰富，一般不需施钾肥。近年来生产实践证明，许多高额丰产田，施钾的作物和某些土壤条件都有良好的效果。因此，忽视钾肥的思想，应该加以克服。

#### 一、作物缺钾的症状

作物缺钾症状一般出现较晚，而且先从老叶开始，逐渐向上部叶扩展，如上部叶出现症状时，作物已因缺钾受到严重危害。

缺钾时叶子浓绿色，而叶边缘或叶尖开始发黄，继而变褐，干枯呈火烧焦状，以后叶脉间的叶肉也干枯，叶面出现青褐色斑斑，叶片干枯而脱落。

缺钾时，机械组织发育不良，茎秆柔软易倒伏，也易感染病害。

#### 二、钾对作物的作用

“人的正确思想，只能从社会实践中来，只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验，这三项实践中来。”广大贫下中农从三大革命运动实践中认识到，钾肥是农业增产的重要因素之一。

(一) 钾在肥料三要素中占第三位，主要农作物需要钾量如下：

表4-1 几种农作物吸收钾(K<sub>2</sub>O)量

作物	水稻	小麦	棉花(籽棉)	油菜	甘薯
产量(斤/亩)	7000	500	500	200	10000
需钾量(斤/亩)	12-33	8-12	22-28	40-50	50-60



生产实践与科学实验证明：亩斤氯化钾可增产稻谷3—5斤，小麦2—4斤，籽棉3—5斤，黄豆5—7斤，花生6—9斤，甘薯30—40斤。

## (二) 钾在作物生活中的作用：

1. 钾在作物体内形态：至今还未在作物体内发现含钾的有机物，它主要呈钾盐与钾离子状态存在，并且大多集中在生命最活跃的幼芽，嫩叶，根尖等部位。用水可以浸提出大部分钾，故钾在体内移动性和再利用能力很差，随着作物生长，钾经常由最活跃部位转移。另外，还有一部分钾在细胞原生质中呈不稳定的吸附态，近年发现钾对许多酶的活化有密切关系，因而影响作物代谢过程。

2. 钾对醣代谢的影响：“做瓦靠坯，种薯靠灰”。此农谚说明种薯类作物施钾肥的重要性。试验证明，钾不仅提高醣总含量，最主要的促进蔗糖与淀粉的合成。因此，种甜菜、马铃薯和甘薯施钾肥有良好效果，属于最喜的作物。

3. 钾对蛋白质代谢影响：“豌豆不要灰，只要灰米祥”。实践证明，富含蛋白质的豆科作物比谷类作物种子含钾较多，而且对钾肥也较敏感。钾对蛋白质形成的影响，一方面因钾促进醣形成与代谢，从而形成氨基酸与蛋白质的原料就较多；另一方面，钾促进氮的吸收和利用，提高蛋白酶的活性，从而有利于蛋白质形成。所以种豆科作物不仅应供给充足氮磷，而且要满足钾。

4. 钾对脂肪代谢影响：油脂由醣转化而来，所以许多油料作物油菜、芝麻等施钾有良好效果，不仅提高产量而且增加油脂含量。

钾对作物代谢有多方面作用，缺钾时引起作物代谢紊乱，就会产生各种病症。

### 三、钾对作物抗逆性的影响：

钾与其它离子（ $\text{Ca}^{++}$ 、 $\text{Mg}^{++}$ 等）等共存，对原生质胶体性状起调节作用，钾使胶体保持一定的分散度、充水度，粘滞性、弹性、透性和酶的生理活性，所以幼嫩部位含钾较多，而钙、镁与之相反，减小原生质胶体的水合作用，使胶体凝聚，降低了细胞透性。钾与钙的相反作用，在作物生活中起离子拮抗作用，以保持作物正常的生理活动。

钾能提高作物纤维素含量，因而有利于厚壁机械组织的形成。充足的钾可促进维管束正常发育，厚角细胞组织加厚，韧皮束变粗，茎变的坚韧而不易倒伏。所以丰产小麦应特别重视钾肥的施用，即所谓“无灰空种麦”的宝贵经验。由于钾增加纤维素，有利于厚壁细胞形成，从而提高作物抗病性。此外，钾对作物抗旱性和抗寒性也有良好作用。

钾对作物抵抗不良环境的作用，有人认为主要由于自然界有放射性钾（ $\text{K}^{40}$ ）存在，产生微弱的 $\beta$ 射线可刺激原生质，促进新陈代谢，因而加强了对外界不良环境的抵抗力。同时， $\beta$ 射线使中性原子活化，加速作物体内代谢的氧化还原过程，显著提高作物产量和品质。因此，近年来，应用微量放射性元素的肥料，对许多作物的产量和品质都有良好的影响。

## 第二节 土壤中钾的状况

### 一、土壤中钾的含量

土壤中钾含量一般较贫，较丰富。因为岩石本身含钾较多，地壳平均含钾 $2.58\%$ ，而砂仅 $0.12\%$ 。凡含钾多的成土母质风化形成的土壤含钾也较高。另外秸秆中含钾较多，历年施大量农家肥的土壤上，钾的耗损也较少，我国土壤平均含钾 $0.5-$

2.0%，红壤、黄壤和一些质地较粗的土壤含钾较少，紫色土、盐硷土等含钾较多。我省土壤一般含钾较多，含钾量为1.5—2.5%，有效钾为0.01—0.04%。

土壤中钾的含量，主要决定了成土母质和机械组成。尤其和质地有密切关系，无论全钾量或有效钾含量，都是土质愈细钾的含量愈高，质地愈粗钾的含量愈低。

表4-2 土壤机械组成与含钾的关系（华北平原）

机械组成	砂土—砂壤土	轻 壤	中 壤	粘 土
群众土名	砂 土	白 土	二合土	黑 土
全钾量(K <sub>2</sub> O)%	1.5—1.8	1.8—2.4	2.0—2.4	2.5—2.9
有效钾(PPM)	<150	150—250	270—330	330—510

我省土壤全钾与有效钾含量总的来看南部比北部高，但不同田块可能有较大的差异性。从我省土壤全钾量和有效钾含量以及历年肥料试验网资料来看，在大量施用农家肥料基础上，钾肥效果远不及氮磷肥效果明显。但是“任何过程，不论是属于自然界的和属于社会的，由于内部的矛盾和斗争，都是向前推移向前发展的，人们的认识运动也应跟着推移和发展。”所以，高额丰产条件下，或大量施用氮磷无机肥料情况下，以及在机械组成较粗的砂性土壤上种植喜钾的作物时，钾的不足可能会上升为主要矛盾，我们的认识也必须跟上去，这时，钾肥的施用就应首先考虑了。

## 二、土壤中钾存在的形态：

(一)水溶性钾：水溶性各种钾盐  $KNO_3$ 、 $K_2HPO_4$ 、 $KH_2PO_4$ 、 $KCl$ 、 $K_2SO_4$ 、 $KHCO_3$  等号存在于土壤溶液种，可供作物直接吸收。但这类钾含量极少，一般约为代换钾的  $1/5$ — $1/10$ ，远远不能满足作物需要。这类钾和代换钾经常保持动态平衡。



释放出钾可被作物与微生物吸收或被土壤胶体代换吸附。在酸盐细菌、硫细菌和硝化细菌等对含钾矿物分解起重要作用。

(二)钾的固定：钾的固定主要包括吸附固定，生物固定和晶格固定。吸附固定态钾可减少流失，但对作物仍是有效的，生物固定态钾短期内对作物无效，但微生物死亡后仍变为有效态，晶格固定态钾是固定牢固而释放困难的，对作物是无效的。

晶格固定是复杂的，简要过程就是某些粘土矿物，如蒙脱石是若干硅铝片重叠而成，硅层中每个硅四面体构成蜂窝状结构，当吸水膨胀时，硅铝层组间隙加大，钾离子随水进入层组间。当干燥时，层组收缩，钾离子半径(1.33Å)和硅层的蜂窝状结构的晶格空隙大小很近似，钾离子即陷入晶格内而被固定为作物完全不能利用状态。因此，土壤粘重经常干湿交替，钾的晶格固定显著增大。因此，施钾肥时应尽量把钾肥深施到土壤湿度变化较小的土层内，以免经常干湿交替，影响钾肥的有效性。晶格固定的钾只有当晶格破坏时，才能释放出来。翻土、抗土能提高钾的有效性，部分地就是因为高温破坏晶格，释放出钾的缘故。

总之，钾在土壤中变化，基本建立在土壤溶液中的钾、代换性钾和含钾矿物的动态平衡上。休闲地由于钾的释放而累积。为促进钾的释放减少固定，就应冲施有机肥，加速微生物活动和根系发育，以促进钾的释放和提高钾肥的有效性。

### 第三节 钾肥及其施用

制造钾肥原料主要是天然的钾盐矿，沿海盐场的盐卤以及明矾和钾长石等。钾盐矿系古代海湾经地壳变迁与海洋隔绝，或内陆干旱区的盐湖，经长期蒸发浓缩，盐类结晶沉积，泥土

复盖形成的盐矿。其中有光卤石  $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 、钾镁盐  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$ 、杂卤石、硬钾盐等。我国青海的达布逊湖和察尔罕湖的盐层中就有大量光卤石，现已开采生产。

我国沿海各海盐场制造海盐的残卤又称苦卤或苦卤也是制造钾肥的重要资源，我省许多地方熬硝残余的硝卤水也是很好的氯化钾肥料。

我国明矾矿藏占世界首位，浙江平阳的矾山驰名于世，明矾含量达 40—50%， $K_2O$  含量达 10—20%。此外，四川、甘肃、新疆等十多个省都有产地。此外，钾长石几乎遍及全国各地。

一、氯化钾 (KCl)：制造氯化钾主要用光卤石 ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) 及卤水 (KCl、NaCl 等) 等。提取 KCl 的原理主要是根据不同温度下，不同盐的溶解度特性而加以分离的。

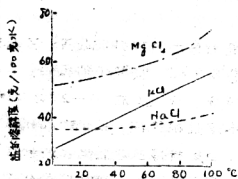


图4-1 氯化钾、氯化钠和氯化镁在不同温度下的溶解度。

图4-1指出，氯化钾的溶解度随温度下降而减少，而氯化钠变化很小，氯化镁溶解度较大。因此以上各种盐类的饱和溶液在温度下降时，氯化钾首先从溶液中析出，离心分出 KCl 结晶，并经反复提取，能获得质量较高的 KCl。用同样原理可从苦卤中提取 KCl。如要获得较纯的

KCl，可用少量冷水提取 NaCl，这样处理两次即获得纯度达 98% 而含  $K_2O$  达 60% 的氯化钾。

氯化钾一般为白色结晶，含  $K_2O$  50—60%，吸湿性虽不大，但储存易结块。目前我国所产的 KCl 多系湖水结晶制成的，白

色或浅黄色小粒状结晶，成分变化较大，作肥料用的KCl，一般含 $K_2O$  40—50%，氯化钠10—21%和少量 $K_2SO_4$ 与 $MgCl_2$ 等。氯化钾易溶于水，为化学中性与生理酸性盐，适于中性与石灰性土壤，在酸土上施用能增加酸度，应与施用石灰相配合，以提高肥效。

二、硫酸钾( $K_2SO_4$ )：硫酸钾可从明矾煅烧后提制；氯化钾与硫酸作用制取硫酸钾；焦炭与无水钾镁矾加温制 $K_2SO_4$ 等。此外，还可用钡砷法制 $K_2SO_4$ 与 $(NH_4)_2SO_4$ 的混合肥料。

硫酸钾系白色结晶，易溶于水，吸湿性很小，储存时不结块。我国土制的硫酸钾成分变化较大，为淡黄色，稍有吸湿性。 $K_2SO_4$ 为化学中性和生理酸性盐，含 $K_2O$  50—52%，为对最敏感作物的良好钾肥。

此外，含钾的肥料还有 $K_2SiO_3$ 、酒石、硝酒水、 $KNO_3$ 以及其他工业废物和钾矿盐等。

三、窑灰钾肥：窑灰钾肥是我国一个新钾肥品种，是水泥厂的副产品，呈灰黄色或灰褐色粉末状，颗粒很细很轻，主要成分是钾，还含有钙镁等其它成分，含 $K_2O$ 在10—20%之间，其中含钾化合物主要有三类：水溶性硫酸钾、氯化钾和碳酸钾等含量占全钾量的40%左右；2%柠檬酸溶性铝酸钾和硅酸钾等含量占全钾量的50—60%，最后还有少量难溶性钾矿物占全钾量的5%左右。窑灰钾肥含 $CaO$  35—40%，含 $MgO$  1—2%，所以是吸水性很强的硷性肥料，其水溶液pH值在8.9—11之间，适于酸性土和需钙较多的豆科作物地施用，南方稻田、甘薯、花生、棉肥、甘蔗等施用都有良好效果。窑灰钾肥施用时应注意以下几点：

1. 窑灰钾肥不能与固态氮肥、尿素、过磷酸钙以及人粪尿等混合施用，以免引起氮素损失或降低磷肥肥效。同时，其中

石灰与过磷酸钙中游离酸反应产生热，容易烧坏作物幼芽和幼苗。

3 窑灰钾肥中含 35-40%  $\text{CaO}$ ，吸水后体积膨大并放出热，同时因碱性过强，故不能作种肥，也不能接触茎叶，以免灼烧。

3 可作基肥和追肥，最好是和土杂肥或塘泥等堆沤后施用，如作追肥应与氮磷肥分别开沟穴施用，不能混施在一起。

4 窑灰钾肥含钾、钙、镁等多种养分，但不能代替氮磷肥，必须在氮磷肥充足时，肥效才较大。

5 窑灰钾肥吸水性强，钾易淋失，貯运时必须防雨防潮。

四、草木灰：草木灰因燃烧温度不同，颜色和钾的有效性也有差异，如燃烧过度呈灰白色，温度过高时钾与硅酸形成难溶性硅酸钾 ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ )，使肥效降低，低温燃烧不完全呈黑褐色。

草木灰成分极为复杂，凡植物体内的成分元素钾、钙、镁、硫、铁及其它微量元素，草木灰中都有，其中以钾、钙较多，磷次之。草木灰不仅成分复杂，而且各成分含量变化也较大。

表 4-3 草木灰与煤灰的成分 (%)

灰 别	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{CaO}$
小杉木灰	10.95	3.10	22.09
杉木灰	12.44	3.41	25.18
小蓬木灰	5.92	3.14	25.09
禾本科草灰	8.09	2.30	10.72
棉子壳灰	5.30	1.20	5.92
稻 草 灰	8.09	0.59	1.92
硬 煤 灰	0.20	0.20	3.50
烟 煤 灰	0.70	0.60	16.00



从表4-3资料看出，我国草木灰中一般草木植物钾钙含量比木本植物少，磷含量也有类似趋势。不仅不同植物灰成分含量不同，而且不同土壤和栽培条件下也是有差异的。

草木灰中钾主要呈碳酸钾形式存在，易溶于水，肥效较快。碳酸钾为硷性盐，并含有碳酸钙属硷性肥，适于硷土而不适于盐硷土。因其含氮较少，故对忌氮作物是良好钾肥。所含的磷有效性也较高，而且含有多种微量元素，故为含多种营养元素的肥料。有些地方用草木灰提取氯化钾与硫酸钾后弃去渣滓，是非常不经济的。

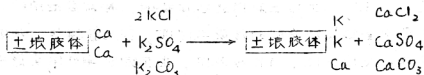
草木灰普遍用作钾肥，对许多喜钾作物有良好效果。草木灰属硷性肥，不宜和氨态氮肥和过磷酸钙混合施用，也不宜垫圈和撒于茅坑或粪堆上。草木灰应该单独收集贮存和施用。防止淋雨，用前过筛，作为基肥、种肥和追肥都有良好效果。

煤灰含钾都不多，因此单独用作肥料对供给作物营养来说没有多大价值。但由于煤灰含有多量石灰和石膏( $CaSO_4$ )等，因此，在硷土上施用有良好效果，特别在我国南方稻田施用，增产颇为显著。我省许多地方有用煤灰垫圈或直接施用煤灰的习惯。煤灰虽然营养价值不大，但煤灰颗粒较粗，施于质地粘重的土壤能改善物理性，降低土壤粘结性，使土壤疏松，便于耕作，有利于作物生长。同时，煤灰还能提高地温，减少地表蒸发，对保墒和盐硷地的改良也有一定的效果。我省晋东南红粘土，晋南一些盐土地，晋北有些地温较低的土地等施用煤灰还是比较普遍的，群众反映有一定的增产效果。煤灰施用前应粉碎过筛。

## 第四章 钾肥的有效施用

### 一、钾肥与土壤的作用及施用：

所有钾肥都易溶于水，施入土壤即溶于土壤溶液，除直接被作物吸收外，立即和土壤胶体产生代换反应。



反应产生的  $\text{CaCl}_2$  溶解度最大， $\text{CaCO}_3$  最小， $\text{CaSO}_4$  居中。如多次大量施用钾肥，容易产生钙镁流失，其中氯化钾引起流失最大，硫酸钾其次，而草木灰与窑灰钾肥流失最少。为防止这种有害作用的产生，施用氯化钾和硫酸钾时，应注意和有机肥料及二价的钙镁肥配合施用。而草木灰与窑灰钾肥和土壤代换产生的碳酸钙溶解度较小，且这些肥料本身含有大量的钙、镁等矿物质，所以即使大量施用也不会引起钙镁流失和土壤结构破坏。

在酸性土上，施用氯化钾与硫酸钾可使土壤变得更酸，而施草木灰与窑灰钾肥，还能中和土壤酸性，因此酸土施用后两种钾肥是适宜的。

从上述反应看出，钾肥中钾离子易被土壤胶体吸附，可减少钾的流失，因而可作基肥施用。在吸附量大的粘质土壤上，钾的移动性大为降低，因此，深施、分层施和集中施用钾肥有很大的意义。尤其有晶将固定危险时，更应深施到湿度比较稳定的深层土壤中。在质地粗的砂质土壤上，钾的移动性较大，施用量大时，容易发生流失，或深度过高的危害。应本着“少量多次”的施用原则。砂质土壤全钾和代换性钾都较少，故施钾肥效果比较好；质地细的粘质土壤全钾与代换性钾都较多，故施钾肥效果较差；盐碱土一般含钾较高，可以不施或少施钾肥。

## 二、钾肥的施用及对作物的影响：

各种农作物对钾肥反应的敏感性是不一样的。凡含糖类较多的作物如马铃薯、甘薯、甜菜、甘蓝和某些果树，对钾肥要求迫切，在一般土壤上种植这些作物时，都需要施用钾肥。由于钾影响蛋白质和脂肪的形成与代谢，因此豆科作物及绿肥和油料作物施用钾肥也有良好效果。由于钾影响纤维素形成和维管束发育，因此纤维作物和手产的谷类作物施钾肥也有良好反应。但一般谷类作物施钾肥效果很不稳定。氯化钾不宜用于糖类和烟草等。

和氮磷一样，作物幼苗期对缺钾的危害较为敏感，所不同的是，仅钾比氮磷流动性大，缺钾时作物体内钾迅速转移到最幼嫩和最活跃的部位，因此缺钾症状常较氮磷稍晚。但一旦出现症状时就要产生严重的影响产量。因此，钾肥作为基肥满足全生育期所需要的钾，作为种肥保证苗期钾营养都是很重要的。因为钾在作物体内流动性很大，早吸收可以反复再利用，充分发挥钾的作用，故施钾肥要“宁早勿晚”。我省群众对播种时施灰肥相当重视。如马铃薯、棉花等用草木灰拌种，对苗全苗齐苗壮有良好作用。钾肥作为追肥也应早施。例如丰产小麦追施钾肥应在冬前或返青后追下去，最迟也应在拔节前追施下去。因为拔节前追钾肥对小麦基部1-2节的机械组织形成有良好影响，从而降低倒伏性以保证丰产。作物生育盛期吸收钾量较多，这时钾不足也会严重影响产量。如果施用足够的含钾基肥，或早期追施较多量钾肥时，这时不施钾肥也能获得良好的钾营养。但到作物生育后期，尤其快成熟时，还可能有一部分钾从根部分泌到土壤中去。因此后期施钾肥效果远不及早期显著。只有在早期钾营养不足时，后期施钾肥才可能有一定效果。

### 三、钾肥与其他肥料的相关性。

钾肥作为基肥、种肥、追肥和根外追肥都有良好效果，但

钾肥的效果和其它养分特别是氮磷供应有密切的关系。只有氮磷充分供应时，钾肥效果才能得到充分的发挥，而豆科作物施钾肥配合施用就有重大的意义。施用钾肥时可能降低其它阳离子尤其钙镁的吸收，所以在钙镁不充足的土壤上，适当配合钙镁肥，维持离子平衡，对改善作物营养有重要作用。此外，在施用农家肥的基础上施用钾肥，也可以减小施用过量钾肥的有害作用。

#### 四、钾肥的施用效果：

钾肥的肥效随土壤、作物及农业技术条件而不同。尤其和土壤供钾能力即代换性钾含量有密切关系。我国北方土壤和四川紫色土代换钾含量都较丰富，在一般产量条件下基本上可以满足作物的需要。

表-4 我国主要土壤代换性钾含量  
(中国土壤研究所 1949年)

土 类	土壤样 本数	各种等级占土壤数的%				
		极足量 >45斤/亩	足 量 30-45%	中 量 22-30斤/亩	少 量 12-22%	极少量 <12斤/亩
盐渍土	15	93.3	6.7	—	—	—
漠钙土	13	92.4	7.6	—	—	—
黄土区土壤	43	28.0	25.5	30.2	13.9	2.3
褐色土	31	32.2	61.2	3.2	3.2	—
水稻土	85	29.4	22.3	21.1	25.9	1.2
紫色土	16	88.0	6.0	—	6.0	—
黄 壤	10	60.0	20.0	—	20.0	—
红 壤	32	37.5	18.7	9.3	32.2	2.3
总 计	245	43.0	25.0	14.0	17.0	1.0

我国土壤大多属褐色土、黄土和部分盐渍土，根据近年来

土壤测定和肥力试验证明，在一般情况下，大多数农作物施钾肥效果不及氮磷明显。1958年全国肥料试验网也获得类似结果。

表4-5 施用钾肥对农作物增产效果

(1958年)

作物	肥 效	试验数目	每斤 $K_2O$ 平均增产斤数	施钾肥显著增产占总数%
水稻	不施农肥	24	3.8	42
	施农肥	38	3.8	22
小麦	施农肥	8	3.4	62
玉米	施农肥	16	2.7	40
棉花	不施农肥	11	3.8	45
	施农肥	9	3.6	33

但是钾肥在砂质土壤上常有明显的效果，尤其对马铃薯和甘薯效果比较明显。例如，1956年在北京郊区芦沟桥砂壤土上，甘薯插后41天，亩施  $K_2SO_4$  30斤，增产甘薯987斤，增产率达23.64%。我省大同农科所在农家肥料基础上亩施钾( $K_2O$ ) 8斤，马铃薯增产17.9%，比磷肥增产16.2%和氮肥增产70.5%都明显。所以对钾肥效果既不能全盘否定，也不能不区别土壤和作物全面肯定，应依具体情况作具体的分析。我们认为在目前大田生产条件下，一般作物在施用氮磷肥的基础上，钾肥效果才能发挥。至于在丰产条件下，在砂性土壤上种植薯类、豆科作物时，必须注意钾肥的施用。如果以后在大量施用无机氮磷肥和产量不断提高的情况下，不施钾肥，土壤中钾就可能逐渐消耗而显得不足，以致钾肥的肥效就会愈来愈明显，这是今后生产上必须注意的问题。

## 第五章 微量元素肥料及复合肥料

### 第一节 微量元素肥料

作物对大量元素、微量元素和超微量元素的需不是质的差别，而是量的不同。因此，作物对各种营养元素的要求是同等重要而不可代替的，这在第一章已阐述过了。但生产实践证明，我们有时不单施微量元素肥料仍能获得较好的收成，因为土壤中一般都会有足够作物数十年至数百年需要的微量元素。所以按量来说，作物一般不会感到缺乏，然而部分地区或某些作物，仍呈现微量元素不足的病症，以至严重的影响产量和品质，甚至颗粒无收。其原因不是土壤中含量少，而是有效性很差；属于质的问题，而不是量的问题，因此，了解微量元素在土壤中的变化规律和施肥状况，以便我们有意识地加以调节，以保证作物连续丰产是非常必要的。

国外许多国家大量施用无机肥料情况下，微量元素肥料的应用，也已提到日程上了。从发展的眼光来看，随着我国工农业的发展，大量施用无机肥料和农作物产量不断提高的情况下，某些微量元素的不足就可能成为限制产量持续上升的主要矛盾，所以应该牢记“情况是在不断地变化，要使自己的思想适应新的情况，就得学习”的伟大教导，思想不能僵化，认识必须跟上形势发展的需要，必须研究那些尚未研究过的和生产中出现的新问题。

#### 一、微量元素营养与肥料

##### (一) 硼营养与硼肥

1. 硼的营养：不同作物含硼量有很大差异。一般豆科比禾本科作物含硼高，同属木本和草本也相差甚远。如玉米含硼1—

2 P.P.m. (占鲜重)，大麦和小麦均为 0.6 P.P.m. 左右。豆科绿肥含硼较高，如苜蓿含硼 33 P.P.m.。一般含硼多的作物，对硼需要量也大。同种作物不同部位含硼差异也较大，分生组织和生殖器官含硼较高，如柱头、子房、花药中都含硼较多，柱头富硼利于花粉萌发，使花粉管很快伸入子房，促进受精和种子形成。所以，花期喷施硼肥，能提高受精率，减少脱落，提高产量。

缺硼输导系统破坏，还原糖在叶内累积，抑制了运转。棉花花期喷硼，促进糖向铃输送，减少脱落，提早成熟。甜菜和薯类能提高产量及糖和淀粉含量。此外，适量的硼能增加种子中脂肪积累和维生素 A、C 含量。

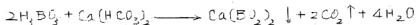
硼对根瘤菌固氮有良好作用。因硼能与酶、糖等形成过氧化物，改善根部氧的供应，促进根系发育；硼促进维管束发育和糖向根瘤转移，以利根瘤菌固氮，故豆科作物施硼肥很重要。

硼在作物体内流动性很差，不能充分利用。所以缺硼受害的首先是幼嫩部位和生长点。缺硼开花少，受精差，落花落果严重。此外，缺硼根部腐烂，甜菜易得心腐病和髓腐病；甜菜和其它蔬菜及果实含糖量降低，苹果果实出现木栓组织等，影响产量和品质。

2 硼在土壤中的转化：硼的含量和成土母质、质地、有机质等密切相关。我国土壤含硼量变化较大，南方红壤最低，1—5 P.P.m.，西北大漠土最高 2.00—1.000 P.P.m.，西北黑垆土 110—140 P.P.m.，东北黑土 80—100 P.P.m.，东北与内蒙的褐色土为 31—77 P.P.m.，总的趋势是：盐渍土 > 钙质土 > 酸性土。

有效硼含量约占全硼量的 2—10%，随土壤酸度而变化，pH 值 5—7 时，硼的有效性最高。pH 5 以下和 7 以上时，有效性减低，当 pH 值 7.5 以上时，有效性很低。因硼酸与钙作用生

成作物难于利用的偏硼酸钙沉淀。



因此，酸土施大量石灰或在石灰性土壤上，种植玉米、甜菜、薯类、棉花、苜蓿、苹果等，施用硼肥常有良好的效果。

3. 硼肥及其施用：作为硼肥应用的主要有硼酸、硼砂和硼镁肥，都是用含硼矿物加工而成的。我国西藏、青海和东北都有丰富的硼矿蕴藏。

表 5-1 几种主要硼肥的成分和性状

肥料名称	主要成分	含硼量%	性 状	溶解状况
硼 酸	$\text{H}_3\text{BO}_3$	17.5	白色小晶体或粉末	易溶于热水
硼 砂	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11.3	白色小晶体或粉末	易溶于水
硼 镁 肥	$\text{H}_3\text{BO}_3 \cdot \text{MgSO}_4$	1.5	白色或灰色粉末	"
含硼磷酸钙	$\text{H}_3\text{BO}_3$ 及 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	0.6	灰黄色粉末	"

此外，作为硼肥的天然矿物还有：方硼石、水方硼石、硼苦土石、硼铁矿、硼钾镁石和硼砂灰等，经加工粉碎后，都可直接作基肥施用。许多农家肥料都含微量的硼，故经常施大量农家肥料情况下，一般作物不会缺硼。

硼肥用量以硼酸计，一般每亩施用 200—400 克，可作基肥、种肥和追肥。由于用量少，单独施用很难均匀，为防止局部浓度过高的危害，可与有机肥、干砂土等混合施用，也可与过磷酸钙混合制成颗粒作种肥，配合比例每亩 7 斤过磷酸钙和 20 克硼酸。为了减少固定，硼肥追肥常采用根外追肥，浓度用 0.1—0.15% 的硼酸或 0.1—0.25% 的硼砂溶液；硼肥粉混入腊性粉后亦可喷粉。用根外硼酸溶液 (0.1—0.05%) 浸种一至二天后播种，也有良好的效果。

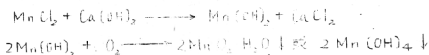


## (二) 锰营养与锰肥：

1. 锰的营养：锰在作物成分中含量比硼略多，以胚、种子及果实外皮和绿叶中含量最多。锰能促进种子发芽与幼苗及生殖器官的生长，提早幼令果树的结实。锰是作物体内许多氧化还原酶的重要成分，因锰离子价可以改变 ( $Mn^{2+} \rightleftharpoons Mn^{4+}$ )，和铁原子价变化 ( $Fe^{+3} \rightleftharpoons Fe^{+2}$ ) 相伴随对作物体内氧化还原过程起重大作用，对稻态氮还原，蛋白质合成以及生理代谢有重大影响。因此，在作物体内维持一定锰铁比例是相当重要的。据试验最适宜的 Mn/Fe 比，小麦 1/2.5，大麦 1/1.5，玉米根生长 1/7，柑桔叶的 1/1.5—2.5 号。可见供给各种养分时，必须注意它们之间比例。锰能加速作物全生育期过程，抑制铁过多的毒害，促进叶绿素和维生素 C 的生成，以及加强茎的机械组织。所以，适宜的锰营养能抗倒伏，提高产量和改善品质。

锰在作物体内移动性很小，故缺素症先从幼嫩部位开始。双子叶作物缺锰时，新叶叶肉变黄变紫，而叶脉仍呈绿色（似缺铁症）；单子叶作物严重缺锰时，叶片出现灰斑或褐绿斑并逐渐连成条状，叶卷起。其它木本作物缺锰，会形成白绿及植株呈现枯焦状。

2. 锰在土壤中的转化：锰在土壤中含量的比硼多，一般土壤平均含锰  $>50 P.P.M$ 。其含量与成土母质，土壤类型有密切关系。黑土含锰  $1000-2000 P.P.M$ ，褐色土  $550-900 P.P.M$ ，而苏打土可高达  $10000 P.P.M$ ，一般南方高于北方。但土壤中锰多不溶于水，其有效性随土壤反应而改变。在中性和石灰性土壤中，二价锰即转变成三价或四价锰而沉淀，尤其在硷性土壤里，水溶性锰很少。



因此，在石灰性土壤上或碱土施用大量石灰，以及硷性土壤中，作物容易产生铁锰现象。

但在酸性（PH值 $\leq 6.0$ ）土壤上，以及淹水的酸性沼泽土壤里，在氧气细菌与有机物作用下， $Mn^{+3}$ 即还原为 $Mn^{+2}$ ，溶解度增加，一般不会缺锰，甚至由于非必需元素多该作物受到毒害。

### 3 锰肥及其施用：

(1) 硫酸锰 ( $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ )：粉红色结晶，含锰24.6%，易溶于水，可作基肥（4—5斤/亩），种肥或根外追肥，根外追肥用0.03—0.1%的溶液，水浸种用1—50PPM水溶液，能使速生和初期生长。

(2) 含锰矿渣：工业副产品锰矿渣呈褐色粉末，含锰量变异较大，一般为1—22%，其中锰的溶解度很低，故多作基肥，用量20—40斤/亩。

(3) 锰化过磷酸钙：过磷酸钙中加10—15%的锰矿渣和2—4%的白云石粉制成颗粒肥施用。

施锰肥的必要性，决定于土壤水溶性锰和代换锰的含量。一般硷性土，石灰性土壤和酸土施用石灰情况下，种植甜菜、苜蓿、大麻、烟草、菠菜和浆果作物施锰肥效果较好。棉（北师大学生物系）试验，根外追施0.1%锰肥溶液对小麦、水稻、甘薯等有一定的增产效果。

### (三) 铁营养与铁肥：

1 铁的营养：铁虽不是叶绿素成分，但却能促进叶绿素的形成。许多试验如：过氧化物酶，细胞色素氧化酶等都含铁，故能促进作物呼吸，加速生理氧化。

铁在作物体内流动性很少，故缺铁时的缺绿病首先出现在新生的嫩叶上。如：果树新叶先变黄，苹果时叶先呈黄白色，以至枝条或全株枯死，缺铁原因还不清楚，已知和土壤反应

作物利用铁能力以及其它养分的比例有关。

2 铁在土壤中转化：土壤全铁都较高，一般不缺。长期淹水的稻田与强酸性土，有时因将亚铁 ( $Fe^{2+}$ ) 过多而发生危害，只有当锰过多时，才可说有缺铁现象。当作物体内积累过多的砷酸或钾，锰不足时，也易发生缺铁现象。在碱性和石灰性土壤上，铁多氧化为高铁 ( $Fe^{3+}$ ) 而沉淀，在北方石灰性土壤和盐硷土上，某些果树常因缺铁而受害。在京津地区苹果、桃树、苹果、海棠、板栗等曾发生严重的缺铁病。生长快时，顶端出现黄叶以至黄白色或褐色斑痕。早期叶脉仍为绿色，严重时叶脉也失去绿色。天津清河农场苹果树喷 0.05%  $FeSO_4$  溶液（或浸叶）后，叶片恢复绿色。分析土壤全铁量很高，而因土壤盐硷化，有效铁很低，故发生严重的缺铁病。我省果树也常发现类似的情况。

3 铁肥及其施用：常用的铁肥有硫酸亚铁，氯化铁和柠檬酸铁等，我省以黑矾为主。

黑矾：又名青矾或皂矾，主要成分为硫酸亚铁 ( $FeSO_4$ )。是提炼硫磺的副产品，呈绿色结晶，易溶于水，含铁 20% 左右。我省晋东南土制黑矾产品最多。许多地方把黑矾加入草坑或堆肥中沤制后施用有良好效果。此外，黑矾还有改良硷土和疏松土壤的作用。

作物缺铁新生叶失绿，故随着新生叶生长，每隔 15—30 天就要喷 0.2%  $FeSO_4$  溶液一次，不是治本办法。为此河北农大在保定试验 (1959)，叶片缺绿的苹果树用发酵棉子饼 10 份混入硫酸亚铁 1 份开沟条施，叶片转绿可维持至落叶。此外，用 0.1%  $FeSO_4$  溶液树干注射也有明显效果。

#### (四) 铜营养与铜肥：

1. 铜的营养：铜多集中在作物生理活动旺盛的幼嫩部位。

种子最多，其次为新叶，茎与老叶较少。铜是作物体内许多氧化酶的重要成分，促进氧化和加强呼吸。铜能提高叶绿素的稳定性，防止叶绿素过早破坏，并能提高抗真菌病害的能力。

缺铜叶绿素较少，光合作用减弱，抑制糖与蛋白质向繁殖器官转移，致营养器官长期处于幼嫩状态，籽粒难于形成而减产。禾本科作物缺铜叶尖端变白，叶边缘呈灰色，严重缺铜不能抽穗。

2 铜在土壤中的转化：除砂土外，一般土壤上作物不致缺铜。只有在沼泽土与泥炭土上，由于铜和腐殖质酸及其它有机酸形成稳定的络合物而被固定，才可能出现缺铜。在石灰性与硷性土壤上，铜易被硷性物质沉淀而降低有效性。



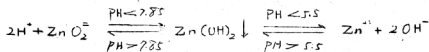
3. 铜肥及其施用：常用的铜肥是硫酸铜，含铜 25.9%，蓝色结晶易溶于水，可作基肥（2—4 斤/亩），追肥和浸种。浸种用 0.02%  $\text{CuSO}_4$  溶液浸 24 小时。此外，还可用铜矿渣作基肥施用。

#### (五) 锌营养与锌肥：

1 锌的营养：锌在作物体内含量极微。锌是作物体内氧化还原的催化剂，促进细胞呼吸。缺锌首先出现在幼嫩部位和生长点。因缺锌抑制生长素形成，影响细胞生长，叶细小，畸形比正常叶小 20—30 倍呈“小叶病”。枝条节间缩短，新生叶片密集成簇状——称“簇叶病”；小麦缺锌叶出现灰绿斑点；玉米缺锌叶脉间呈黄或白色，甚至新生叶也呈灰黄或白色，称“白芽病”。

2 锌在土壤中的转化：锌在土壤中含量不多，砂土更少，一般质细富钙的土壤比砂土和硷土为多。锌与有机质形成络合物，有效性降低。锌为两性元素在石灰性中沉淀，有效性降低，在

酸性和硷性情况下，溶解度增加，有效性提高。



在硷土中

在石灰性土壤中

在酸土中

3. 锌肥及其施用：锌肥有硫酸锌 ( $ZnSO_4$ ) 和氯化锌 ( $ZnCl_2$ )。在砂土和石灰性土壤上及栽培果树地上，施锌肥有良好效果。锌肥可作基肥、根外追肥和本本植物和干叶剂等。大田作物用 0.05—0.1%  $ZnSO_4$  溶液根外追肥，对小麦、水稻、甘薯等有一定增产效果。苹果发芽前 7—15 天喷 1—1.5%  $ZnSO_4$  溶液，可预防“小叶病”。

#### (六) 钼营养与钼肥：

1. 钼的营养：钼在作物体内含量依种类而异。豆科可高达 1.9—91 P.P.M.，多集中在根瘤内，其次是种子，非豆科含量很低，仅 0.01—0.7 P.P.M.

钼是硝酸还原酶组成部分，促进硝态氮还原，有利于蛋白质合成，对氮吸收利用有良好作用。钼能提高根瘤菌固氮能力 2—7 倍，促进磷的吸收利用，以利有机硫化合物形成和累积，起到“以肥调肥”的作用。同时，钼还可降低锰、铜、锌等过量的危害。

缺钼叶生长不正常。甜菜叶变白逐渐枯萎凋落；番茄叶边缘向上卷曲，形成灰色斑块而枯落；甘蓝形成瘦长畸形叶，称“鞭毛病”。

2. 钼在土壤中的转化：钼在土壤中含虽量较低，但作物需要极微，故一般作物不现缺钼。但在酸土上因钼被游离铁铝沉淀，可能出现缺钼，而在硷性土壤中，钼有效性较高，不致缺钼，只有种豆科作物时，才易出现缺钼现象。

3. 钼肥及其施用：钼肥多用钼酸铵或钼酸钠，可作基肥，

种肥和追肥。为了施用均匀充分发挥肥效，可用20克钼酸铵与硼酸和7-10斤过磷酸钙混合作种肥条施，也可用0.02%的钼酸铵溶液作根外追肥。钼肥效果和氮磷供应水平密切相关。浙江蔓岩在种植柑桔山地酸土上，根外喷施0.1%钼酸铵溶液，高氮肥水平比低氮肥水平显著增产。无论南方或东北白浆土上种大豆，施磷肥可提高钼肥效果，钼肥也能提高磷肥效果，互起增效作用，其效果高达1-10倍。钼肥目前主要用于酸土和种豆科作物范围。

此外，作物还需要某些超微量元素，稀土金属和放射性物质。这些都在研究和试行在生产中应用。

## 二、微量元素缺乏症诊断与治疗

微量元素诊断是相当复杂和困难的问题，但只有正确的诊断，才能合理地治疗。这也和打仗一样，“指挥员的正确部署来源于正确的决心，正确的决心来源于正确的判断，正确的判断来源于周到的和必要的侦察，和对于各种侦察材料的联贯起来的思索。”要对微量元素得到正确的诊断和合理的治疗，必须周密地调查研究，综合分析研究各种材料，才能提出合理的治疗方案。

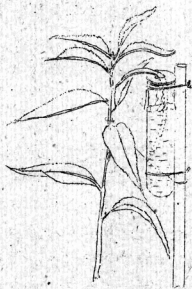
(一) 外形诊断：各种作物如缺乏某种营养元素，必然会相应地产生各种症状。结合我们前面阐述的缺乏症进行判断，同时了解土壤情况，过去施肥情况以及环境条件，综合分析判断缺乏某种养分的可能性。根据初步的判断，提出探索性的治疗处方，并进行必要的化学分析。

(二) 治疗诊断：根据初步提出的探索性的治疗处方，进行试验。如经治疗症状消失或大大减轻，就能基本肯定缺乏某种养分了。

1. 注射诊断：把微量元素盐类，配成适当浓度(0.1~0.2%)

溶液，注射到作物体内，隔数日观察症状消失情况以资诊断。注射方法有：叶间注射、叶脉注射和小枝注射等。

(1) 叶脉注射：果树和许多作物都可采用。把滤纸或脱脂棉搓成捻子，一头置叶脉切口处，另一头放在盛微量元素溶液的试管中，经7—12小时即能判断出是否症状消失。5—10天



叶脉注射图

后即能明确判断。或将病株叶片沿主脉切去部分叶片，把主脉浸入含微量溶液试管中（图5-1），经1—2时后取出，数日后观察邻近叶片症状消失情况。

(2) 枝条注射：把病株小侧枝切破，浸入含有微量元素的溶液中，数日后观察枝条上叶片症状消失情况。

2. 根外喷施诊断：把适当浓度的微量元素盐溶液喷在病株叶片上，隔数日观察症状消失情况。为了提高效果，溶液中加入0.1—0.2%的湿润剂。此外，还能试验根外追肥的适宜浓度。

(三) 化学分析诊断：主要有土壤分析和作物组织分析。据试验，土壤钾含量小于3—8PPM（0.1N 盐酸浸提），锰15—150PPM（0.1N 硫酸浸提），硼0.5PPM时，一般作物都会出现缺上述微量元素症状。柑桔叶测定钾的临界含量为15PPM，铜4PPM，铁35PPM，硼20PPM，钼0.5PPM。不同作物和生育期以及不同环境条件下，微量元素临界含量是不同的。需要进一步加以研究。

### 三、微量元素肥料施用方法：

上述诊断和探索治疗，确定缺乏某种微量元素后，就要通过大面积施肥，改善营养状况。微量元素肥料施用特点是：用量很少但必须非常均匀，以免局部浓度过高而受害；为了减少固定和流失，必须分期施用和降低与土壤接触面。因此，多采用下述方法：

1. 根外追肥：一般施用 0.02—0.2% 的盐溶液，一般铁、锰、硼浓度可高些，而铜、锌、钼则应低些。根外追肥后症状消失，但经过 20—30 天后又出现，故常需连续喷施数次。此外，还可采用喷粉法。

2. 浸种和灌根：用稀盐溶液浸种有良好效果。也可以在作物生长期前，尤其前期用极稀的微量元素盐溶液浇灌。据试验用 0.005% 硼酸或等浓度硫酸铜和硫酸锌浇灌番茄幼苗，每隔数日浇灌一次，有良好效果。

3. 混合施肥：微量元素肥料与无机肥混合作基肥或种肥，既能撒布均匀，又可互相提高肥效。也可与干土或细砂混合施用。除易被有机质固定的微量元素（如铜、锌）外，也可混入农家肥料中作基肥和种肥施用。

4. 玻璃微量元素肥料的应用：近年来我国生产的玻璃肥料，就是由硼、镁、铜、锌、铁、钼盐类和玻璃碎屑熔融制成小颗粒状，均匀施入土壤，可连续供应作物而不会固定和流失，而且施用一次可维持肥效若干年，是值得研究和采用的一种方法。

此外，经常施用农家肥料和施用含多种微量元素的钢铁炉渣，同样供应了微量元素。而且有机肥料、酸性肥料、硫酸等的施用，还可大大提高土壤潜在微量元素的有效性，以满足作物对微量元素的需要。





## 第二节 复合肥料

凡是含两种以上营养元素的肥料称复合肥料。含两种主要营养元素的称二元复合肥料，含三种者称三元复合肥料，含三种以上者称多元复合肥料。

复合肥料最大优点是所含成分绝大部分都可被作物吸收利用，供给作物多种养分，对改善作物营养状况和简化施肥手续都是有利的，同时，理化性能良好，不含或含很少成分很少，无游离酸，养分含量高，多制成粒状，不易吸湿结块，便于贮藏和施用，而且有的肥效持久，养分不易流失，适于多种土壤，对土壤的负面影响较小等等。但也有缺点：第一，由于所含养分比例固定，不能灵活按不同作物和生育期所急需的养分分施用，有时还要配一单一肥料，第二，确实生产某种复合肥料前，必须对土壤和作物营养进行大量研究工作，而且有些产品制造成本也高。

我国在发展复合肥料的两条路线斗争中，既批判了刘少奇一类反党分子盲目学习资本主义国家的“洋奴哲学”思想，又批判了“自力更生”“自力更生”的排外思想。在毛主席革命路线指引下，结合我国具体情况，独立自主的发展了我国复合肥料工业。目前我国除继续提高和大力生产硝酸钾外，普遍利用明矾石、磷矿粉等进行了氮磷肥、氮钾肥等复合肥料的生产。文化大革命以来，南京化肥厂就生产了品种多和肥效高的氮磷复合肥料。随着我国科学试验和化肥工业的发展，肯定会产生大量适合我国情况的各种复合肥料。

一、二元复合肥料：常见的二元复合肥料主要有氮磷肥、氮钾肥和磷钾肥。

(一) 氮磷复合肥料：主要有磷酸铵与磷酸氢二铵(双料)。

氧化过磷酸钙、偏磷酸铵等。

1. 磷酸铵与硫酸铵：又称复合肥。

磷酸铵是  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  与  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  的混合物。乳白色细粒状结晶，或灰白色粉末状或颗粒，略有吸湿结块性，颗粒状的物理性状良好。易溶于水，为速效性氮磷复合肥料。施入后呈生理中性反应。磷酸铵中通常含氮 11—16%，有效磷酸 45—55%，其氮磷比较为 1:4，而农业上常需氮磷比为 1:1—1.5，因氮少磷多，适于氮多磷少的土壤与作物苗期或豆科作物地施用。

磷酸一铵  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  是化学酸性肥料，含氮 12% 含磷酸 61%。磷酸二铵  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  是化学中性肥料，含氮 20% 磷酸 53%。在潮湿空气中常有氨挥发，不大稳定。这两种肥料混合加入防湿剂制成颗粒，便于保存运输和施用。

硫酸铵是磷酸一铵和硫酸的混合物，为灰白色颗粒，无吸湿性，比磷酸铵物理性状好，便于保存。一般含氮 16—18.5%，磷酸 12.5—20%，氮磷比基本接近 1:1，适用范围较广。

磷酸铵和硫酸铵可作基肥和追肥。作为种肥，保证前期氮磷营养更为有利。

2. 氧化过磷酸钙：过磷酸钙加入少量氨或含氮化合物，中和游离磷酸，形成磷酸一铵、磷酸二铵、磷酸一钙和磷酸二钙等混合物，使过磷酸钙的吸湿结块性和腐蚀性显著降低，并粒化，物理性状很好，便于贮存和使用。一般含氮 2—3%，磷酸 13—14%，氮磷比接近 1:6，氮少磷多，施用时应适当配合氮肥。

3. 偏磷酸铵  $(\text{NH}_4\text{PO}_3)$ ：是高浓度的氮磷复合肥料，含氮 17% 磷酸 73%，白色或灰白色颗粒，难溶于水，但 90% 能溶于柠檬酸铵，肥效高而持久，物理性状好，不吸湿结块，貯运

施用都方便，是世界各国新发展的高浓度氮磷复合肥料。我国正在研究，不久即能投入大量生产。

(二) 氮钾复合肥料：主要有硝酸钾、硫酸与硫酸钾混合肥料。

1 硝酸钾 ( $KNO_3$ )：俗称火硝或土硝，是群众土法熬制的肥料，我省不少地方都有生产和施用习惯。制法参见土化肥料。

硝酸钾是白色或黄白色与灰白色结晶，纯的不易吸湿结块，易溶于水，属生理硷性或中性。 $KNO_3$  在  $400^\circ C$  以上时即分解燃烧，在红热的木炭火上熔化燃烧产生紫色火焰，忌与易燃物接触，以免发生燃烧爆炸，属危险品。

$KNO_3$  含氮 13-15%， $K_2O$  45-46%，氮钾比为 1:3.4，氮少钾多，宜用于喜钾作物如马铃薯、红薯、甜菜、烟草等。由于我省土壤普遍缺氮，故群众常把  $KNO_3$  作为氮肥施用。 $KNO_3$  宜用作追肥，不适于稻田与下湿地。旱地可作基肥。

2 氮钾混合肥：即硫酸与硫酸钾的混合肥料，我国是由明矾用氨硷法制成的，含 N 14%， $K_2O$  16%，氮钾比基本接近。呈白色结晶，易溶于水，吸湿性很小，便于贮存施用。可作基肥、种肥和追肥施用，适于各种作物。对缺氮钾砂质土和喜钾作物都有良好效果。

(三) 磷钾复合肥料：包括磷酸钾和偏磷酸钾等。

1 磷酸钾 ( $KH_2PO_4$ )：磷酸钾又称磷酸二氢钾，含  $P_2O_5$  24%， $K_2O$  27%，易溶于水，速效，呈白色或灰白色粉末，吸湿性小，物理性好，燃烧呈紫色火焰，适于各种土壤与作物，可作追肥和种肥，施用时应配合氮肥，适于喜磷钾作物如豆科作物等。作为后期根外追肥有良好效果。

2 偏磷酸钾 ( $KPO_3$ )：为高浓度磷钾复合肥料，含  $P_2O_5$  53-54%， $K_2O$  28%。属柠檬酸铵溶性肥料，肥效高而持久。不

吸湿结块，呈灰白色或淡黄色颗粒。适于各种土壤（中性至酸性更好）和作物，适于柑桔类及其它果树、花木和烟草等，对一般作物应配合氮肥施用。对玉米，棉花肥效不低于过磷酸钙。

二、三元复合肥料：肥料中同时含有氮、磷、钾三种主要养分的肥料，实际是单元肥料经熔合、聚合或混合而成的复合肥料。最常见的有“硝酸钾”、“磷酸钾”和“尿素—钾—磷”三种。

1 磷酸钾：是用磷酸铵、硫酸和硫酸钾配制而成的，呈灰白或浅褐色颗粒，吸湿性很小，适于潮湿地区施用。其氮(N)、磷( $P_2O_5$ )、钾( $K_2O$ )的百分(%)组成有：9-18-18、10-50-10、12-24-12、10-20-15、12-12-16号品种，在国外有一定量的生产。

2 尿素—钾—磷肥料：是用尿素、磷酸钾、磷酸二铵熔合而成，其三要素百分(%)组成为22-14-14，氮素中硝态氮4%，氨态氮6%，尿素态氮18%。因含不同形态氮素，具有不同肥效特点，但成本较高，广泛应用于精细果园与园艺作物。

3 硝酸钾：在国外获得广泛应用。是磷酸铵、硝酸铵和氯化钾或硫酸钾熔合而成的，呈白色、灰白色或浅褐色的粒状肥料，能溶于水，不易吸湿结块，便于贮存和施用。硝酸钾种类繁多，如按N- $P_2O_5$ - $K_2O$ 百分(%)组成成分有：13-13-20、15-15-15、12-12-19、15-15-12号，按N： $P_2O_5$ ： $K_2O$ 含量比例分有：1：1：1.3、1：1：1或1：2：1号。

1：1：1.3的硝酸钾，适用于中性土壤和甜菜、红苕、马铃薯以及园艺作物。1：2：1的硝酸钾，适于需要钾少磷多地区或作物施用。这种肥料对土壤性质无大影响，一般土壤均可施用，可作基肥与追肥，亩施肥量20-40斤。

三、多元复合肥料：除氮、磷、钾三成分外，有的还加入

Mg, B, Mn 等或其它微量元素的肥料, 称多元复合肥料。这类肥料在国外发展很快。各种成分比例, 依特殊要求而定, 如 Mg, B, Mn 在混合肥料各占 4.1%, 0.5%, 0.2% 用于水稻、马铃薯和柑桔等; 各占 2.7%, 0.3%, 0.2% 的多用于果树, 其次是水稻秧田。

运用混合方法制造各种复合肥料或混合肥料的原则, 方法比例特殊等, 我们将在施肥法中叙述。

从最近十多年来, 国外肥料发展趋势来看, 复合肥料增长速度很快。一般趋向于用有效成分高的化肥和复合肥料代替有效成分低的单一成分的化肥。欧洲主要发展的复合肥料是硝酸铵磷盐类, 氮磷钾含量达 30—50%, 此外, 在美国还生产一种有效成分(氮磷钾)为 5—5% 的双倍硝酸磷酸钾肥料。各国都重视液体复合肥料的生产, 除 N, P, K 成分外, 还加入某些微量元素, 杀虫剂和生长调节剂。另一种新形态复合肥料就是悬液, 悬液优点是: 撒布均匀, 可以和微量元素, 农药及其他化学物质混合使用, 用泵汲装即用管道远距离(32/8 公里)输送, 降低成本。

日本复合肥料生产在肥料总产量中占绝对优势, 达 90% 以上, 品种达两千多种。其中有合成复合肥料, 混合复合肥料, 固体粒状复合肥料和液体复合肥料等。从成分上看, 除 N, P, K 主要养分外, 还加入 Mg, B, Mn 等, 液体复合肥料中还加入 Fe, Cu, Zn, Mo 等, 有的还混入泥炭、粘土、工业废弃物、保肥物质, 抑制硝化剂, 农药等制成的复合肥料。

任何事物都是“一分为二”的, 复合肥料虽有很多优点, 但也有缺点。我国土地辽阔, 各地区土壤、气候、作物种类等差异较大, 绝不能教条地盲目搬运外国的经验和配方。必须通过大量的科学试验, 探讨在不同的气候、土壤、作物和农业生

产条件下，结合我国工农业发展情况，独立自主地提出适合我国具体情况的各种营养成分和比例的复合肥料品种。近年来，我国已开始探讨这个问题。相信在伟大领袖毛主席和党的英明领导下，我国的复合肥料，不久就会得到突飞猛进的发展。

### 第三节 其它肥料

除以上各种肥料外，作物还需要钙、铁、硫和微量的硅、钠、氟等。但这些元素在我国土壤中一般都不会感到缺乏，所以就不介绍了，现在只提一下某些间接性的肥料。

一、石灰：我国南方酸性土地区广泛施用石灰肥料，中和土壤酸性，改善土壤物理化学和生物学性状以利作物生长，同时也供钙、镁养分。常用的石灰肥料有生石灰（CaO）、熟石灰〔Ca(OH)<sub>2</sub>〕、石灰石粉（CaCO<sub>3</sub>）、白云石粉和炼铁炉渣等。我省钙质土并不需要施用石灰。

二、石膏与硫酸：石膏（CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O）在南方酸土地区主要用于供给作物硫、钙营养和改善土壤性状；在北方主要用于化学改良硷土。我省有大面积盐硷地，少数属于硷土，利用石膏进行化学改良还是有效的方法。硷土施用石膏的数量主要依土壤硷度和代硷性钠盐行径。硷土施用石膏后，再经灌溉淋洗，就能降低土壤硷性，除去过多的盐分，以利作物生长。



经过灌溉或雨水，即把Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>淋洗掉，从而改良了硷土，以利作物生长。

硫磺施入土壤，经硫化细菌作用，氧化成硫酸，中和土壤

硷性，同样可以改良硷土。

三、滴水和食盐：滴水分盐滴水和硝滴水，我省熬硝残渣的滴水为硝滴水，群众又称坑塘或地池，肥效比盐滴水高。硝滴水一般含氮2—4%，含钾( $K_2O$ )2—7%， $NaCl$  20% 以及少量钙、镁盐类。我省许多地方施硝滴水有良好的增产效果。一方面由于供给作物氮、钾养分，另一方面也由于含作物营养和微生物活动所需要的钙、镁、硫、钠及其它微量元素。

硝滴水适于沙壤土和冲地施用。一般用作追肥，每亩追肥量为50—100斤，用前可兑水5—10倍（也可不加水，但不是按根系、叶、根），浇于作物根际附近（用壶），待滴水充分渗入土壤后再灌水，无灌溉条件时应结合降雨施用。滴水一般不宜用于盐硷地、稻田和缺雨季节的旱地。忌累作物烟草、薯类、甜菜和浆果类作物均不宜施用。滴水不能接触作物茎叶，以免烧苗。

食盐：我国南方群众有施用食盐的习惯，据反映，施食盐后，禾谷类秸秆坚硬抗倒伏，病虫害少，秸秆沤法并提早成熟。对水稻、大麻、亚麻等有良好效果。但是我省土壤一般不宜施用食盐，以免产生不良后果，应该特别注意。

四、肥料增效剂：最近国内外都提出，在肥料中加入某种增效剂，可显著提高肥料效果，最近东北黑龙江制出711（三氯甲苯比噻）、712（六氯乙烷）和713（二甲苯亚砷）等氮肥增效剂。据说此增效剂和氮肥合用，可抑制硝化细菌活跃，延迟氮素转化，减少流失；同时还能提高根对矿物质养分的吸收，有明显的增产效果。

五、长效性肥料：国外近年提出生产长效性（缓效性）肥料，一次施用可获得肥效半年，一年甚至数年之久。要求呈水难溶解，不易转化流失和固定，在速效上升或根系受阻碍，就



逐渐释放供作物吸收。属于这类肥料的有：玻璃肥料，胶膜颗粒肥料，尿素—甲醛聚合肥料，2-氨基丙二酰脲，乙二酰脲，异丁基脲等<sup>2</sup>。我国近年来也在开展这方面的研究工作。

此外，还有各种菌肥、刺激性肥料等等。

伟大领袖教导我们：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。肥料的发展同样也不会停留在一个水平上，随着生产斗争和科学实验的发展，不断地总结经验，必然在肥料方面有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”

## 第六章 有机肥料

有机肥料即农家肥料，包括农村中就地取材就地积存的一切自然肥料。如人类尿、各种家畜粪尿、堆沤肥、绿肥、土杂肥等。是目前农村中肥料的主要来源，在我国农业生产上起着极为重要的作用。虽然化肥使用量在不断增加，但有机肥料仍然占重要的地位。任何企图以化学肥料来代替有机肥料的想法都是错误的。

使用有机肥料在我国有数千年的历史，我国农民对它有很深刻的认识和掌握丰富的施用经验。解放以来，在伟大领袖毛主席的英明领导下，随着社会主义农业的迅速发展，有机肥料在积、造、保、运、施等方面创造出许多丰富的经验，大寨大队的“秸秆还田”的经验就是一个突出的例子。

有机肥料在农业生产上是一种不可代替的肥料，它除了来源广泛，可就地取材，就地施用外，还具有目前化学肥料中所不具备的特点：

1. 有机肥料是一种完全肥料，它含有作物所需要的各种营养成分；

2. 有机肥料中由于含有大量有机质，施入土壤后能增加土壤中有有机质的含量，可以改善土壤的理化性状；改善土壤中的空气、水分和养分之间的协调关系；可以丰富土壤中有有机胶体物质，改变土壤的物理化学吸收性能，提高土壤的缓冲性；

3. 有机肥料中含有大量的碳水化合物，能满足土壤中微生物进行活动以及繁殖所必需的热量。同时有机肥料本身也会有大量的微生物，加强了土壤中的微生物活动，使土壤中的难溶

性养分转化为可溶性养分。有机肥料中的碳水化合物在分解过程中所产生的二氧化碳又是作物和微生物的碳素营养来源之一。

4. 豆科绿肥作物根部的根瘤菌有固氮作用，能增加土壤中的氮素，同时根系深，能熟化下层土壤，增加后茬作物的营养吸收面积；

5. 有机肥料肥效缓慢，后效长，能供给作物整个生育期间养分的需要；

6. 有机肥料能提高土壤的保水性，这对于旱地区的防旱保墒有重要意义。

事物总是“一分为二”的。有机肥料除具备上述优点外，也有在着一些缺点，例如一般有机肥料中有效养分含量低，为了满足作物对养分的需要，就必须大量施用，这就增加了贮存、运输和施用等方面的困难；同时有机肥料中常带有寄生虫卵及各种病菌。此外，一般有机肥料的肥效慢，当年利用率低。上述的这些缺点，可以通过人的主观能动作用加以克服，如提高贮存的质量，减少养分的损失，提高腐熟度，加入防治病虫害的药剂等措施。

在农村，仍然必须贯彻以农家肥料为主，化学肥料为辅的方针，积极开展群众性的积肥、造肥运动，广开肥源，增施肥料，为农作物稳产高产提供物质条件。

## 第一节 养猪积肥

### 一、养猪积肥的重要意义：

伟大领袖毛主席指出：“我国的肥料来源第一是养猪及大牲畜。一人一猪，一百一猪，如果能办到了，肥料的主要来源就解决了。这是有机化学肥料，比无机化学肥料优越十倍。

“一头猪就是一个小型有机化肥工厂。”毛主席这一指示，

为我国农村肥料发展指明了方向。当前农村群众性的养猪积肥运动蓬勃发展，出现了许多一人一猪的省、县、社、队和畜一猪的社、队。粮食亩产达“纲要”的浙江省就实现了一人一猪。我省的养猪事业也有很大发展，养猪事业搞得好的昔阳、高平、永济等县，有的社队也实现了一人一猪和畜一猪。1970年昔阳县全县户均1.4头猪，大寨等公社户均二头以上，高平全县户均二头多，并涌现出“一人一猪”公社一个，“一人一猪”大队23个。永济县户均2.7头，晋城县北义城公社达到户均7头，人均1.5头，长子县太堡头公社南河大队达到户均9头，人均2头多，亩均1.5头。

随着养猪事业的发展，肥料冲多了，粮食产量也冲高了，昔阳县1971年亩产达650斤，高平县1971年亩产过“黄河”。说明了猪多肥多，肥多粮多，粮多猪多的辩证关系。

“一头猪是一座小型的有机化肥工厂”，它为农业生产提供大量的优质农家肥料。一头猪平均每天排泄粪尿18斤（其中粪6斤，尿12斤），每年每头猪就可排出粪尿约6500斤（其中粪2200斤，尿4300斤），再加上各种垫料等，每头猪每年可积优质肥一万斤左右。因此，大力发展养猪事业乃是多快好省地解决肥料来源的重要途径。

## 二、猪粪尿及猪圈粪的成分与性质

由于目前农村在积存猪粪尿方法上的不同，故有猪粪尿与猪圈粪两种之分，凡是将纯的猪粪尿直接引出圈外经过堆沤发酵所获得的肥料称为“猪粪尿”。这种积存方式不好，易造成粪尿的流失与养分的损失，如果在猪圈里加垫一些土、草、秸秆、垃圾等物质与猪粪尿掺混一起的称为“猪圈肥”，它也必须经过起圈堆肥后才可使用。

猪的饲料比较精细，且猪的饮水量大，因此排泄出来的粪

便比较柔和、细致，水分大，发酵发热小；故贫下中农常称猪粪为“冷性肥料”。当然这是与其他肥料相比较而言。

猪粪中一般含 N 2.12%， $P_2O_5$  0.98%， $K_2O$  2.45%，C/N 为 16.2。新鲜猪圈粪中一般含 N 0.45%， $P_2O_5$  0.19%， $K_2O$  0.60%。

由于猪粪中碳氮比率较小，养分释放快，故能养地保苗，发大苗也发小苗，是一种优质的农家肥料。

猪粪经过腐熟之后形成了大量的腐殖物质及各种生物物质，对改良土壤，改善作物营养都有显著作用。根据原北京农大的研究，猪粪中含有大量的脂蜡物，这些物质的存在对防止或减少土壤毛管水的蒸发；对抗旱保墒增加土壤耕层水分的积存有着一一定的作用。因此旱地施用猪粪更有其重要意义。猪粪中还会含有丰富的微生物活动的合成产物，如胡敏物质，它们具有促进作物根系健壮生长，加强作物体内物质代谢及酶的活性，提高土壤有效磷的含量，改善土壤肥力状况，调节土壤微生物区系，加速农作物生长发育的共同特性。因此，使用经过腐熟的猪粪就具有现实的意义。

### 三、猪粪尿的积存：

养猪的垂重要意义之一是为了积肥，因此如何有效地多积攒猪粪，提高猪圈粪的肥效是当前农村养猪积肥中的一个很重要的问题。许多地区由于领导重视，群众重视，既发展了养猪事业又增加了肥料，贫下中农说：猪多肥多，肥多粮多，粮多猪多。这就是辩证唯物论的观点。但也有一些地区及社队，对养猪积肥的垂重要意义认识不足，抓得不紧，养猪事业发展缓慢，或者是养了猪但积攒不下肥料；这种现象必须加以克服。

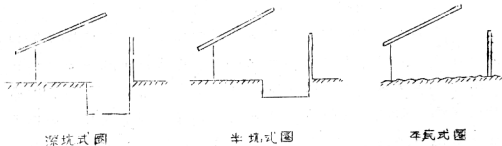
养猪积肥首先必须做到猪有圈。而猪圈的形式对积肥关系很大，目前农村生产队和社员养猪的猪舍基本上分为三种类型：

深坑圈、半坑圈、平底圈。

**深坑圈：**其最大特点就是在圈内有一个2—3尺深的坑，它既是猪的运动场所，又是积肥坑，经常向坑内加垫泥土、杂草、秸秆，加以等各种杂物，与猪的粪尿混合在一起，通过猪的扒踩，经过一段长时间的堆沤后，就成为优质的圈肥。深坑圈由于坑深，必须加大垫料数量，这对保蓄养分及多积肥料是有利的，但坑深也带来了垫圈、起圈上的困难，不便勤起、勤垫，也不利于猪舍卫生。

**半坑圈：**这是目前农村生产队集体饲养和社员个体饲养普遍推广的形式。它既具有坑式的优点，又克服了深坑式的缺点。常见的半坑式一般坑深1.5尺，由于坑浅，一次不能多垫料，因此必须勤起、勤垫，这就改善了猪舍卫生条件。半坑式一般春秋两季每月起圈一次，夏季半月一次，冬季二、三个月一次。起出来的圈粪必须堆沤起来让其腐熟，以提高肥效。

**平底式圈：**圈内不挖坑，猪的粪尿通过自流或打扫的方式引出圈外，圈内不垫料或少垫料。这种方式不好，不利于积肥，对于土质圈底的卫生条件很差。遇上下雨则猪经常生活在泥泞的圈内。目前农村还有不少是这种形式的猪圈，应改变过来。



不论哪种形式，都应当做到勤起勤垫，垫圈的材料可以就地取材，在选择材料时必须考虑到：第一，具有较高的吸水性，

第二，材料本身具有一定的肥效，第三，取材方便。因此，凡是各种秸秆、树叶、杂草、泥土、泥炭以及垃圾等都是良好的塑料，目前农村多数是垫泥土掺秸秆。为了保证圈肥的质量，不能盲目加大泥土的数量，否则，不仅降低肥效，不易腐熟，而且造成运输上的困难。比较合适的比例是粪：土 = 1：4。大寨大队把猪圈盖在山上，就地积肥，就地使用，既搞好村庄的环境卫生，又节省了大量劳力，这个经验值得推广。

起出来的圈肥必须经过一段时间的堆沤，让其腐熟后再施用。在堆积过程中必须控制堆内一定的水、气、热条件，并且注意养分的保存，堆制的方法对养分的保存有很大的关系。

表6-1 不同堆制方法的保氮率

处	理	保 氮 率 (%)
地面堆积封泥		68.72
地面堆积不封泥		62.35
猪、马粪分层堆积		68.20
猪粪夹土堆积		73.77

注：

$$1. \text{保氮率} = \frac{\text{积制后肥堆材料总重量} \times \text{积制后全氮}\%}{\text{积制前肥堆材料总重量} \times \text{积制前全氮}\%} \times 100$$

2. 猪、马粪分层堆积为 猪粪：马粪 = 5：1

3. 猪粪夹土堆积为 猪粪：土 = 5：2

为了加速腐熟过程，在堆积过程中结合二、三次捣粪翻堆。即在堆积半个月左右进行第一次捣粪，再隔约十天左右进行第二次，再经十天至半个月左右进行第三次。经二、三次翻堆后即可使用。翻堆捣粪的目的是创造合适条件促进腐熟，但也不是次数越多越好，因为翻捣一次都要造成氮的损失，因此要根据具体情况进行，次数不宜过多，以达到腐熟为标准。猪粪腐

熟的标准用贫下中农的标准来概括，就是：“黑、烂、臭。”即颜色变黑，腐烂润滑，带有酸臭味。

#### 四、猪圈粪的施用与肥效：

腐熟的猪圈粪是优质的农家肥料，它不仅具有“性殊，劲大，效长”的特性，而且也有“养地、保墒、既发小苗也发老苗”的发育特点。

猪粪一般做为基肥施用，腐熟度好的也可做为播种前开沟施用，甚至也可做为前期追肥用。据试验，小麦以猪粪做底肥，可促进小麦冬前的正常分蘖和加速冬后的分蘖，提高成穗数。一般说，猪粪底肥比马粪底肥冬前分蘖数增加1.11%，返青后分蘖数增加1.10%。

表 6-2 猪粪底肥与马粪底肥对小麦生长的影响

底肥种类	冬前分蘖数 (万/亩)	返青后分蘖数 (万/亩)	成穗数 (%)	有效分蘖率 (%)
猪粪	62.9	174.3	47.3	27.7
马粪	62.0	158.0	44.4	28.0

猪圈粪是一种冷性肥料，较骡马粪及羊粪发热量少，故施于阳坡地（即热性地）上效果最好，这就是因地制宜。大寨大队的猪圈盖往山上阳坡上，就地施用，是一种很科学的施肥方法。贫下中农还反映猪粪“发阴”，就是指它吸水保水性强，因此在干旱地里施用猪粪还有保墒的作用。

#### 五、发展养猪积肥的几个问题：

在毛主席无产阶级革命路线指引下，我国和我省的养猪事业发展很快。为了尽快地实现“一人一猪”、“一亩一猪”。必须处理好下面几个问题：

1. 必须坚持以执行毛主席的无产阶级革命路线，落实党的各项无产阶级政策，坚持实体的社员户个体饲养的“两条腿



走路”的方针。“除了合作社公养以外，每个农家都要劝他们养一口至几口猪”。

2. 解决猪饲料问题。必须狠批刘少奇一类骗子散布的“唯生产论”，克服“粮食不过关，养猪难发展”的右倾保守思想。毛主席教导我们：“猪的饲料是容易解决的，某些青草，某些树叶，番薯藤叶和番薯都是饲料，不一定要精料，尤其不一定要用很多的精料。不少地方遵照毛主席的教导，大搞青粗饲料加工，大搞糖化饲料和打浆青贮饲料，解决了饲料问题，发展了养猪事业。同时生产队也应帮助社员户解决一定的饲料，财贸部门也应落实奖励政策。

3. 坚持自繁自养的方针，解决本单位的仔猪来源。

4. 建立和健全猪的饲养管理条件，生产队应有养猪场，专人负责，加强饲养管理，社员户也应有完善的猪圈，并落实社员的投肥制度，以人投肥，按劳议价，调动社员积肥投肥的积极性。

5. 搞好猪的疾病防予与治疗工作。

## 第二节 人粪尿

人粪尿是我国自古以来使用最普遍的一种农家肥料。由于其养分含量高，分解快，所以肥效大而迅速，适于多种作物，在蔬菜上使用最普遍。广大贫下中农在利用人粪尿方面积累了丰富的经验，在农业生产上发挥了积极的作用。

### 一. 人粪尿的成分与性质：

人粪中约含有 70—80% 水分，20% 左右的有机物质（其中主要是纤维素，半纤维素，脂肪和脂肪酸，未消化的蛋白质，分解蛋白质，氨基酸，各种酶，胆质等），5% 左右的无机物（含有硅酸盐，硝酸盐，氯化物，钙镁钾钠等盐类）。同时还含有

大量的已死的和活的微生物，有时还会有寄生虫卵。

人类一般呈中性反应，也有呈酸性或硷性。这主要决定于食物成分和分解的程度。若食物中蛋白质多，则分解生成各种胺类和多量的氨基酸，因而呈中性或弱硷性，若食物中糖类多，则分解生成多量的有机酸，脂肪酸，乳酸等，因而呈酸性或微酸性。

人尿中含有 95% 左右的水分，2% 左右的尿素  $[CO(NH_2)_2]$ ，1.0% 左右的食盐  $(NaCl)$  及少量尿酸  $(C_5H_4N_4O_3)$ ，马尿酸  $(C_6H_5CO NH_2 COOH)$ ，肌酐酸  $(C_4H_7N_3O)$ ，黄嘌呤  $(C_5H_4N_4O_2)$ ，尿三母  $(C_4H_7NO_6)$ ，尿甲素  $(C_4H_6N_4O_3)$  以及少量氨基酸和微量元素等。新鲜人尿呈酸性反应。腐熟的人尿因其中的尿素水解成碳酸铵，故变成微硷性反应。

人类尿中含有多种养分，但主要为氮、磷、钾和有机物。养分含量随人的年龄、饮食情况、健康状况及对食物消化吸收的能力有所差别。根据分析研究，成年人的粪尿养分平均含量如表 6-3。

表 6-3 人类尿主要养分含量

鲜物	水分(%)	有机物(%)	N(%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O(%)
人类	70以上	20左右	1.00	0.50	0.37
人尿	95左右	3以上	0.50	0.13	0.19
人类尿	80以上	5—10	0.5—0.8	0.2—0.4	0.2—0.3

从上表可以看出，人类尿是一种优质农家肥料，养分含量高，且肥效快。

我国是世界上人口最多的国家，人类尿数量大，是一种很重要的肥源，每年可以从人类尿中获得大量的作物所需要的营养元素。据研究每个成年人每年排泄的粪尿的养分数量如下表：

表6-4 每个成年人每年排泄的粪尿所含养分表

项目	排泄量 (斤)	N (斤)	相当于硫酸 (斤)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (斤)	相当于 过磷酸钙 (斤)	K <sub>2</sub> O (斤)	相当于 硫酸钾 (斤)
人粪	180	1.20	9.00	0.90	4.50	6.67	1.40
人尿	1400	7.00	35.00	1.82	9.10	2.67	5.55
共计	1580	8.20	44.00	2.72	13.60	3.34	6.95

若把全国人口的人粪尿收集起来，按半数成年人折算，则养分含量相当于化学肥料的数量如下表：

表6-5 全国按半数成年人折算的粪尿  
相当于化肥数量 (万吨)

项目	相当于硫酸 (万吨)	相当于过磷酸钙 (万吨)	相当于硫酸钾 (万吨)	合计
人粪	180.0	90.0	28.0	298
人尿	700.0	122.0	110.8	932.8
人粪尿	880.0	212.0	138.8	1290.8

上表可以看出，若将全国人口全年排泄的粪尿全部利用起来，则相当于化学肥料1300万吨，这个数字是极可观的。另外从上表还可看出：人尿的养分数量高于人粪三倍多，这一点值得注意，因为目前在农村还存在着重视人粪而轻视人尿的倾向，只利用人粪，而将大量的人尿运弃掉。

## 二、人类尿的积存：

尽管我国农民对人类尿给予很大重视和积累了丰富的施用经验，但人粪尿这一肥源在解放前并没有被充分利用。解放后，在毛主席的英明领导下，社会主义农业飞速发展，广大贫下中农认真贯彻执行“八字宪法”，在人粪尿的积、保、施的方面也有了新的创造和发展，普遍建立起茅坑和公共厕所，既搞好

了环境卫生，保障了人民的健康水平，又积存了大量的优质肥料。人类尿的利用率也从过去的 20% 提高到 70—80%，农作物的产量也逐年增高。

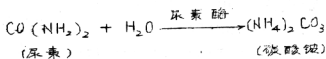
贫下中农都有这样的经验：即施用新鲜的人粪尿会发生“烧苗”现象。这是因为如尚未腐熟的人粪尿施在地里，则人粪尿就在地里分解发酵，在分解时产生的热量将苗烧坏，另外新鲜粪尿中的高浓度的尿素也引起烧苗。此外，人粪尿中的病原菌及寄生虫卵也会在地里进行传播，因此新鲜的人粪尿是不宜施用的，必须经过一段时间的贮存，让其分解发酵，把作物不易吸收利用的物质分解成为被吸收的物质，提高了人粪尿的肥效，同时在分解发酵过程中也会将病原菌及寄生虫卵杀死，起到消毒的作用。这就提出了对人类尿如何合理积存的问题。“矛盾存在于一切事物的发展过程中”。人类尿在积存过程中同样也存在着矛盾，这种矛盾表现在：第一，人粪尿数量庞大，天天都有积累，这是好的一面，但它又是一种流体肥料，易于流失，这给保存带来一定困难；第二，人类尿的肥效快，速效养分含量高，易被作物吸收利用，这是有利的一面，但也带来了养分易于挥发损失的不利的一面。所以，要充分发挥人类尿在农业生产上的作用，人类尿的积存是一个关键问题。

贮存人类尿的中心问题是如何减少养分的损失，提高肥效，防漏以及减少病菌传播。为要做到合理贮存，首先必须了解人类尿的内在矛盾，即人类尿在贮存期间的变化发展规律，掌握了这种规律，就能提出合理有效的措施来防止养分损失和提高肥效。

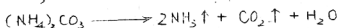
#### (一) 人类尿在贮存过程中的变化：

人类尿的腐熟过程是生物化学变化过程，是由人类尿里的微生物和大气中进入的微生物共同作用，将人类尿中的复杂有

有机物分解为简单的化合物。如人粪中的含氮有机物(蛋白质, 酶等)由于微生物的活动而分解成氨基酸、氨、二氧化碳、硫化氢, 各种有机酸和水等, 无氮有机物则分解成各种有机酸、碳酸、沼气及水等。人尿中的尿素在脲酶的作用下水解成碳酸铵, 其反应如下:



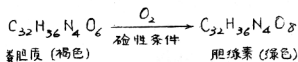
人粪尿腐熟过程中所生成的碳酸铵还要继续分解, 产生氨和二氧化碳, 造成养分的损失:



所以当温度高, 空气流通, 则挥发更多, 损失更大。因此在人粪尿贮存期间必须设法防止氨的损失。从这里可以看出, 贮存时间愈长则损失的机会愈多, 所以只要达到腐熟程度就可施用。

在实践中, 对于人粪尿的腐熟度的识别是很重要的。一般识别人粪尿腐熟与否, 可从下面两方面去鉴别之:

颜色的变化: 由原来的黄色或褐色变成绿色或暗绿色, 可作为腐熟的标准。这是因为尿素在脲酶的作用下生成碳酸铵, 使原来呈酸性反应的尿液变为硷性, 透明的尿液变成混浊, 褐色的粪胆质在硷性条件下很容易被氧化为暗绿色的胆绿素, 其反应如下:



贮存时间: 从人粪尿的贮存时间和当时的气候条件也可估计是否腐熟。据贫下中农的经验: 夏天一般十天左右, 冬天的

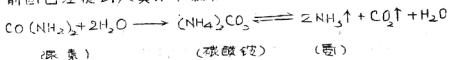
二十多天即可腐熟。

此外，还可从人粪尿的外观上来鉴别之。如果完全成为烂浆状的流体或半流体的物质，即标志腐熟。

(二) 人粪尿的积存方法：

1. 加盖遮荫：

前面已经提到人粪尿在腐熟时主要的生化变化如下：



碳酸铵分解后主要生成气态氨和二氧化碳，如果贮存时，容器敞开，空气流通，此时反应即达不到平衡，反应向右方进行，生成的  $\text{NH}_3$  和  $\text{CO}_2$  继续向大气中散失，分解反应继续强烈进行，最后导致  $\text{NH}_3$  的几乎全部损失。根据质量作用定律，欲使反应达到平衡，必须提高  $\text{NH}_3$  和  $\text{CO}_2$  的分压，促使  $\text{NH}_3$  和  $\text{CO}_2$  转变为  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  的速度与  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  分解成  $\text{NH}_3$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  的速度达到平衡，这时  $\text{NH}_3$  就不再挥发了。因此贮存的容器必须密闭，另外，温度升高加速反应向右进行，增加  $\text{NH}_3$  的损失，故必须在阴凉密闭的条件下贮存。所以加盖遮荫是防止氮素损失的有效措施，同时也改善了环境卫生。表 6-6 为不同处理氮素的损失。

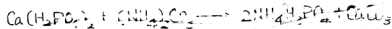
表 6-6 不同处理氮素的损失(%)

处 理	15天后	30天后	45天后	60天后	75天后	90天后
室内不加盖	2.97	6.39	11.30	28.57	30.68	45.58
室内加盖	0.09	1.51	4.92	7.79	8.16	8.40
室外不加盖	9.03	13.40	14.14	33.16	41.10	68.73
室外加盖	2.93	3.93	5.83	16.50	20.00	25.06

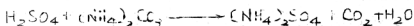
2. 加保氮剂：

①物理保氮剂：利用吸收性强的物质，如泥炭、干土、草秆、落叶等放在粪池里作为复盖或与粪便掺和，可以吸收多量氮和尿液，减少氮素损失。试验指出，用20%泥炭复盖或掺入，比单存的减少氮素损失17—28%。

②化学保氮剂：用化学保氮剂主要是使不稳定的 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 变成比较稳定的化合物。例如加入3—5%的过氧酸钙或石膏或较高的磷酸，不仅可以固氮，而且可以补充人类尿中的磷或其他养分，提高质量。



此外有时还有在人类尿中加入黑矾（即 $\text{FeSO}_4$ ）的习惯，同样也起到保氮的作用：



我国华北及西北石灰性土壤中常缺少有效铁，故用黑矾（ $\text{FeSO}_4$ ）处理人类尿，既能保存人类尿中的养分，又能补充土壤中的有效铁，同时黑矾还能改善土壤的物理性状。

### 3. 制成堆肥或冻粪：

我国北方地区，雨水少，农民常把人类尿与土混合制成堆肥。即选择比较肥沃的土壤，打碎土块，晒干，四周叠成高埂，然后把粪尿倒入，立即混合堆成堆，并打实，经过1—2周后进行翻捣，再堆，要求混合均匀，肥力一致，即可施用。粪土比例为1：3—4。如果在地头堆制，还可减少运肥负担。

冻粪也是我国北方农民贮存粪尿的一种办法。即在冬季把地表的土刮起，打成堆，然后往里面加粪稀，由于冬季气温低，

就在里面结冻形成冰类，到春天再施到地里。

上面两种贮存方法，其优点是：①不用粪池，比较经济；②就地堆制，可减少运肥劳力。

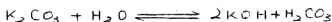
#### 4. 人粪与人尿分别贮存：

人粪与人尿成分差异较大，人尿主要成分为尿素，不经腐熟完全可以施用，如经贮存反而造成氮素的损失，根据我国近年来各地（上海、天津、山东等省）沤粪新鲜人尿的经验证明，在人多数情况下，直接施用鲜人尿不仅无害，而且对小麦、小麦、谷子、棉花、水稻等增产效果远比浇腐熟人尿为大。

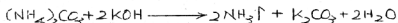
人粪中的养分多为复杂的有机态，必须经过腐熟后才能利用，加之人粪中常含有大量有害的传染病菌和寄生虫卵，须经腐熟或消毒以杀死之。因此，人粪与人尿分别贮存是比较理想的。

#### 5. 贮存方法上两个必须注意的问题：

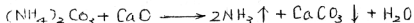
第一，有些地区农民习惯将草木灰等一些硷性物质混入人粪中，这种做法很不妥。前面提过，人粪尿在腐熟后其氮大多以碳酸铵形式存在，如与硷性物质混合，则会引起氨的大量挥发损失。其反应过程如下：



（草木灰主要成分）



草木灰中还含有多量的氧化钙，也能促使碳酸铵的分解：



据研究，草木灰与粪尿混合（1:1.5）贮存三天，氮素损失达 27.35%，贮存三个月则损失 85.6%。

第二，华北地区有些农村，尤其是城市郊区农村，有将人粪尿晒成粪干的习惯，就是将粪与土及硷性炉灰等混合晒制成



粪干，其目的是便于运输，但这种方法也不好，因为在晒制过程中养分损失很大，氮素损失达40%以上，大大降低肥效。山东农科所1960年对夏谷子进行试验，每亩浇稀人粪尿50斤比施粪干2000斤的增产44.5%。同时在晒制过程中也容易传播疾病，影响环境卫生。如果确实运输上发生困难，必须晒成粪干时，最好在人类尿中加入保氮剂，然后再晒制，这样可以减少氮素的损失。

### 三、人类尿的卫生处理：

人类尿中含有大量传染病菌及寄生虫卵，如果不经处理直接施用，则容易造成疾病的传播，特别是在蔬菜地区更应注意。处理方法：

(一) 密封堆积：将人类尿与垃圾等混合密封堆积制成堆肥，堆积过程中产生的高温能杀死病菌及寄生虫卵。

(二) 茅池密封发酵，既可减少氮素的挥发损失，又能起消毒的作用。

(三) 用0.1—0.2% 666粉消毒。

南方有些地区加入1—2%石灰，以杀死血吸虫、钩虫，其效果很好，但会引起氮素的损失。除血吸虫、钩虫传播严重地区外，一般不应提倡此法。

### 四、人类尿的施用和效果：

人类尿是一种以氮肥为主的含有少量有机质的速效养分的农家肥料。它适于多种作物和各类土壤上施用。远在两千多年前我国劳动人民就已开始用它肥田了，长期以来已经积累了许多极为丰富的经验。

#### (一) 人类尿的施用：

我国各地农村在人类尿施用方面有下面三种用法：

浇稀：即粪尿混合积存的产物。粪稀在大田作物、蔬菜

果树上等追肥用，经腐熟的粪稀一般都做为追肥用，在城市郊区蔬菜区应用更普遍，尤其对叶菜类蔬菜效果很好。但未经腐熟的人类尿用于蔬菜时应注意卫生问题。近几年来我国水稻种植面积正在扩大，粪稀应用于稻田效果也很显著。早春育秧时，用粪稀做为秧田追肥是一种很理想的肥料，它不仅提供秧苗生长所需的各种养分，而且施粪稀后还有提高水温增地温的作用，对促进秧苗生长起很大作用。在本田生长期用粪稀做追肥其效果也很好，尤其是对新垦稻区，土壤有机质含量低，土质又比较粘重的田块，施用粪稀对秧苗生长有很好促进作用。

我省许多地区用粪稀做为冬小麦的追肥，在越冬前追施（暖沟肥），每亩一、二千斤，对保护小麦安全越冬很有好处。

土粪：即人粪尿与泥土、秸秆、杂草等掺制而成。在北方地区施用很普遍。土粪一般做为基肥施用，它适用于各种大田作物及果树蔬菜，也适于各种土壤。

人尿：人尿主要成分为尿素，是速效养分，最适于做追肥。近年来大搞冬季小麦浇尿，在华北地区的山东、河北等省浇尿已成为冬麦管理的普遍措施。另外，高粱、谷子、玉米等作物也有浇尿追肥的。在群众性的开展科学实验运动中，有的地区利用人尿浸种小麦获得增产效果。其方法是用人尿100斤，浸种籽80斤，浸种一—3小时，每间隔半小时充分搅拌一次，浸后捞出晾干即可播种，方法简便易行。经浸过的小麦出苗早，根系发育好，苗期长势健壮，有一定的增产效果。人尿中约含有15%的NaCl，故不宜施用于烟草、瓜果、马铃薯、红苕、甜菜和生姜等作物上。因氯离子会降低烟草的燃烧性能，马铃薯、红苕的淀粉含量，甜菜的糖分含量以及生姜的辣味等。人尿含氮量不宜大量施用，以免冲淡养分。

新鲜人尿可以施用，其肥效比腐熟的要高。

表6-7 鲜尿与陈尿对小麦增产效果

处 理	浇尿量(%)	次数	时 期	产量(%)	增产(%)
鲜 尿	1500	1	惊蛰前	318.55	89.26
陈 尿	1500	1	惊蛰前	224.99	12.50
鲜 尿	1500	2	清明前	355.32	77.67
陈 尿	1500	2	清明前	298.14	49.10
不浇尿	—	—	—	200.00	—

(二) 人粪尿的肥效：

人粪尿是一种优质农家肥料，它对多种作物都有增产效果。

表6-8 人类和人尿的肥效

肥料种类	早玉米	晚玉米	小麦	谷子	菠菜	大白菜	萝卜
人 尿	591(%)	416	158	312	1549	19200	2706
人 粪 干	480	376	129	260	998	15190	3967
硫 酸	594	416	160	286	1609	18600	3533
土 粪	298	276	100	206	752	7194	1136

从表6-8可以看出，人尿肥效与硫酸相似，对菠菜则较硫酸为优，而粪干与土粪的肥效都不及硫酸与人尿。这一点是值得注意的。华北地区有些农村不习惯用人尿，认为是水汤汤的没有什么肥效，其实不然。从分析结果看，尿中氮素含量约占粪尿全氮量的80%左右。同时人尿中的磷钾均属水溶性的，易被作物吸收，并且尿中不含有病菌及寄生虫卵，故为一种很好的肥料。

据各地试验结果证明：冬小麦每亩浇人尿500斤，可增产小麦40斤，每亩浇人尿1000斤，可增产70斤。

人粪尿不仅有提高作物产量之效，而且对于改善作物的高质也有良好的作用。玉米浇施人尿，蛋白质含量相对比对照高

7—9%。在蔬菜上施用人粪尿其蛋白质也比等量氮素的硫酸含量高。这也说明人粪尿是蔬菜的良好肥料。

必须指出，人粪尿中含氮多，磷、钾少，故要获得作物高产，必须配合磷钾等其他肥料施用，才能发挥其更大的效果。

### 第三节 家畜粪尿及厩肥

家畜粪尿及厩肥是当前农村中的一类主要的农家肥料。家畜粪尿是指猪、牛、羊、马等等饲养动物的排泄物，其中含有丰富的有机质和作物所需的各种营养元素。厩肥则是家畜粪尿和各种垫圈材料混合后经过堆积发酵而成的。

一、家畜粪尿和厩肥的成分及性质：牲畜粪和牲畜尿是两种不同成分、不同性质的物质。粪是饲料经过消化器官后，没有被吸收利用而排出体外的废物，其中的主要成分是纤维素，半纤维素，木质素，蛋白质及其分解生成物，脂肪类，有机酸以及各种无机盐类。尿是饲料中营养成分被消化吸收，进入血液，经过新陈代谢后而以液态排出体外的部分。尿的成分比较简单，全部都是水溶性物质，主要有尿素，尿酸，马尿酸以及钾、钠、钙、镁等无机盐类。

由于粪和尿的成分不同，其中所含氮、磷、钾的形式和数量也有差异。其中的氮素主要是蛋白质态，不能被作物直接利用，分解也比较缓慢；尿中的氮素呈尿素、尿酸、马尿酸等水溶性有机态，这一类有机氮素虽不能被作物直接吸收，但是很容易转化为易被吸收的氨态氮。牲畜粪尿含氮量高低因饲料的成分不同而异，饲料中所含的蛋白质如果容易消化，则尿的含氮量比粪高，如果蛋白质不易消化，则粪的含氮量比尿高。

牲畜粪中的磷酸含量很高，而尿中含磷极少，这是由于草食动物所吸收的磷酸，经过新陈代谢后，又进入肠道随粪排出。

粪中的磷酸一部分是卵磷脂、核蛋白等有机态，一部分是无机磷酸盐类，这些形态的磷，容易分解被作物吸收，肥效很好。

牲畜尿中的含钾量比粪高，尿中的钾素多呈碳酸钾盐的形式，容易被作物吸收。由于这些盐类的存在，使牲畜尿呈微酸性反应。粪中所含的有机态钾和钾的无机盐类，都容易溶解于水，肥效也很好。

就牲畜粪和牲畜尿的肥分含量，牲畜粪是富含有机质和氮、磷素的肥料，牲畜尿是富含氮、钾素的肥料，粪和尿又都含有钙、镁、硫和各种微量元素成分，因此，粪和尿的混合物是富含有机质和多种肥分的完全肥料。现将主要牲畜粪尿中肥分的一般含量，列于下表。

表 6-9 牲畜粪尿的肥分含量(%)

类别	成份	水分	有机质	氮	磷	钾	钙
				(N)	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	(K <sub>2</sub> O)	(CaO)
猪	粪	82	15.0	0.56	0.40	0.44	0.09
	尿	96	2.5	0.30	0.12	0.95	—
牛	粪	83	14.5	0.32	0.25	0.15	0.32
	尿	94	3.0	0.50	0.03	0.65	0.01
马	粪	76	20.0	0.55	0.30	0.24	0.15
	尿	90	6.5	1.20	0.01	1.50	0.45
羊	粪	65	28.0	0.65	0.50	0.25	0.46
	尿	87	7.2	1.40	0.03	2.10	0.16

各种牲畜尿的质都相似，而粪则因牲畜的体质，消化能力等不同，各有其特性：

猪粪的特性：猪的饲料比较多样化，猪粪的性质也常不一致。猪饲料一般比其他牲畜的饲料细一些，经过细致咀嚼和消化后，猪粪的质地也比较细，养分含量也较高，水分含量大，发热慢。猪粪适于施用各种作物。根据大寨大队经验，将猪粪

施于向阳干燥的土壤上效果极好。

牛粪的特性：牛是反刍动物，饲料经过反复咀嚼，因而粪质细密；又加之牛饮水多，粪中含有多量水分，空气不易流通，因此分解腐熟缓慢，发酵温度低，一般称为冷性肥料。未经腐熟的牛粪，肥效较低，经过堆沤腐熟，可以提高肥效。施用牛粪对改良土壤具有良好的效果，能使土壤疏松，易于耕作。

马粪的特性：马对饲料的咀嚼和消化不及牛细致，因而马粪中的纤维较粗，呈多孔状，通气性良好，水分易于蒸发，同时粪中含纤维分解细菌很多，能促进纤维素的分解，因此，马粪的腐熟分解快，发热量大，所以一般称马粪为热性肥料。可以用做温床上的发热材料；在制造堆肥时加入适量马粪，可促进堆肥的腐熟。施用马粪可改善粘土的性状。

羊粪的特性：羊也是反刍动物，对饲料咀嚼很细，羊饮水少，故粪中水份含量少而肥分含量浓厚。羊粪比马粪发热量低，但比牛粪发热量大，发酵速度也快，在砂质土和粘质土上施用羊粪，均有良好的效果。

在实际生产中，家畜粪尿往往与垫料混合制成厩肥施用。厩肥的成分随家畜的种类，饲料的优劣，垫料的种类和用量以及其他种畜条件而不同，一般新鲜厩肥的平均肥料成分如下：

表 6-10 厩肥的平均肥料成分

家畜种类	水	有机质	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S(SO <sub>2</sub> )
	%	%	%	%	%	%	%	%
猪	72.4	25.0	0.45	0.19	0.60	0.08	0.08	0.08
马	77.5	20.3	0.34	0.16	0.40	0.31	0.11	0.06
牛	71.3	25.4	0.58	0.28	0.53	0.21	0.14	0.01
羊	64.6	31.8	0.83	0.23	0.67	0.33	0.28	0.15

厩肥平均有机质 25%，N 约占 0.5%，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 约占 0.25%，

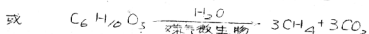
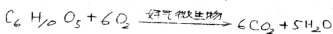
$K_2O$ 约占0.6%。每吨厩肥平均含N约10斤， $P_2O_5$ 约5斤， $K_2O$ 约12斤。

新鲜厩肥一般不宜直接施用，因其中之养料植物大多不能利用，加之纤维素等化合物含量高，C/N比率大，施用后，不仅会影响土壤中有效氮的含量（微生物的生物吸收），而且通气不良时，还能引起反硝化作用，影响肥效。

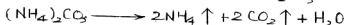
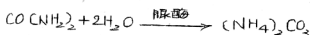
二、牲畜的粪尿排泄量和厩肥的产量：厩肥是牲畜粪尿和垫料物质混合发酵后的产物。其产量主要决定于牲畜的粪尿排泄量和垫料的种类和数量。牲畜粪尿的排泄量又因不同牲畜种类，体重大小，饲养和使役情况而不同；牛、马、驴、骡等大牲畜的食量比猪、羊的食量大，其排出的粪尿量也多，但是因为在田间供使劳役的时间较多，有一部分粪尿受到损失。牛的粪尿排泄量很大，平均每头牛每日排粪尿共约五十斤，其中粪三十斤，尿二十斤，每年共计排粪尿一万八千斤。北方大多用土垫圈，可积圈粪三万至四万斤。马的粪尿排泄量比牛少，每日排粪尿共约三十斤，其中粪二十斤，尿十斤，每年粪尿总产量一万余斤。用土和秸稈垫圈，每年马厩肥二万至三万斤。羊的粪尿量较少，每日排粪尿约四斤，其中粪三斤，尿一斤，每年共计排粪尿一千五百余斤。用土垫羊圈每年可产圈粪约五千斤。

三、家畜粪尿和厩肥在贮存和堆制过程中的变化：牲畜粪尿和厩肥在贮存和堆制过程中，各种成分都发生变化，这些变化主要是由于微生物的繁殖活动而引起的。粪中含有大量微生物，尿中一般不含有微生物，但排泄后很快被粪中的微生物感染，分解作用即开始进行。粪中尿中的各种成分的变化情况，与垫圈材料，贮存中的温度、水分和空气等条件均有密切的关系。现将各类物质的变化情况简述如下：

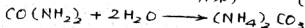
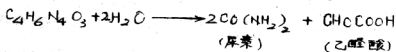
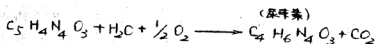
粪尿和厩肥中所含有的有机物质，可分为不含氮有机物和含氮有机物两类。不含氮有机物有纤维素、半纤维素、糖类、脂肪和有机酸等，这类物质分解后的最后产物是水和二氧化碳，在嫌气条件下分解并有甲烷（沼气）产生：



含氮有机物主要是蛋白质、尿素、尿酸和马尿酸；这类物质分解后都产生氨。含氮有机物中分解速度最快的是尿素，尿素经尿素酶和多种微生物的分解作用，很快地转变成碳酸铵，碳酸铵很不稳定，进一步分解而产生氨。



尿酸的分解速度比尿素稍慢。尿酸分解时先生成中间化合物尿卟啉，它的溶解度比尿酸大得多，继续分解生成尿素和乙醛酸，尿素则进一步分解成碳酸铵：



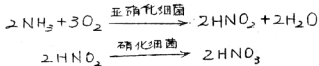
马尿酸的分解速度比尿酸更慢，最初生成苯甲酸和甘氨酸，甘氨酸缓慢分解放出氨：



蛋白质分解产生氨的速度较为缓慢；先经微生物分泌的蛋



白酶的作用，分解成为氨基酸，氨基酸再经氨化细菌的作用而分解成氨和有机酸。这种氨化作用能将蛋白质态氮转化为速效的氨态氮，提高牲畜粪尿的肥效。上述的氨基酸经氨化作用所生成的氨，如果在好气条件下，再经亚硝化细菌和硝化细菌的作用就能氧化成为硝酸（硝化作用）。



反之，如果生成的硝酸盐，在缺氧条件下，反硝化细菌就会夺取氧，使硝酸盐还原成游离氨而损失。但是由于微生物能吸收硝态氮素来构成微生物细胞组成，所以实际上反硝化作用的损失是很少的。

有机质的分解和合成是同时进行的，由复杂的化合物变为简单的，由不溶性的变为可溶性的，释放出其中养分；相反，微生物的合成作用又由简单化合物合成为复杂的化合物，最后可合成腐殖质（腐殖质化过程）。

四、家畜粪尿和厩肥的肥效及施用：农业生产和科学实验的实践证明：施用家畜粪尿和厩肥不但能提高作物产量，而且还能提高土壤肥力，既肥土，又肥苗，是化学肥料所不能及的。这种肥料非但能提高当年作物产量，而且还有较长时间的后效，可供后茬作物利用。它的增产作用可归纳为下列几个方面：

① 改善土壤物理性质：因为家畜粪尿和厩肥含有大量的有机质，分解后能产生腐殖质胶体，它在土壤中能使一部分土粒胶结起来，变成稳定性的团粒结构，从而能改善土壤的物理性，增加保水保肥能力，使土壤疏松，通气良好，容易耕作。并能改善土壤的热量状况。因为腐殖质多的土壤，保水保肥能力较强，而导热性较小，土温变化幅度小，在冬季由于土色深，吸

热多，加之导热性较小，散热慢，所以冬季土温较高；在夏季同样由于导热性小的缘故，土温上升慢，故土温较缺乏有机质的土壤低。所以说，有机肥料能改善土壤水热条件，有利于作物生长。

②供给有效养料：因含有氮、磷、钾和各种微量元素，可称完全肥料，它对于一般作物的生长和发育都有良好的作用。厩肥在土壤中一般约有 $2/3$ 至 $3/4$ 能起矿质化作用，作为作物养料的直接来源；另外 $1/3$ — $1/4$ 的厩肥在土壤中则能产生腐殖质。根据中国科学院和其他单位的综合资料证明，厩肥在一年内氮的利用率为 $20$ — $30\%$ ，钾为 $60$ — $70\%$ ，其中大部分为水溶性的，易为作物吸收利用。又厩肥中的胡敏酸还能促进植物根的呼吸作用，有利于植物对养料的吸收。施用厩肥不仅能供给作物有效养分，而且还促进了微生物的生命活动，能合成各种维生素，它们对于根的生长和固氮菌的活动都有良好的效果。

③增加有效养料：厩肥在土壤中的分解能产生各种有机酸和碳酸，从而提高了矿物质养料的溶解度，在石灰性土壤中，磷、硼、锌、铜的溶解度都比较低，施用厩肥后，能促进这些养料的溶解，增加土壤中的有效养料。

④促进微生物的生命活动，产生大量的二氧化碳：土壤中施入厩肥，土壤就增加了大量的有机质，这就促进了微生物的活动。加之所施入的厩肥中又带入大量的微生物，这就使有机质迅速分解，产生大量的二氧化碳，增强植物的光合作用，同时土壤中的二氧化碳也能被作物根吸收，从而提高了作物产量。

综上所述，可见畜粪和厩肥的施用，对于改善土壤的水、肥、气、热状况都有一定的作用，既能提高土壤肥力，又能促

进作物生长，达到既肥土又肥苗的双重功效。

家畜粪尿和厩肥的施用：施用这类肥料，常因作物种类，土壤肥力，气候条件，技术措施以及肥料本身性质的不同而不同。因此，在施用厩肥时，必须考虑到影响厩肥肥效的各种有关因素，因地制宜拟定合理的施肥办法，才能更加合理地发挥厩肥的肥效。厩肥一般作基肥用，完全腐熟的厩肥也可作追肥用，一般不宜用新鲜的畜粪和厩肥。

畜粪和厩肥的施用不仅与肥料本身性质有关，不同的作物对于厩肥的利用率是不同的，一般利用率较高的作物，如甘薯、萝卜等就可施用半熟的厩肥，利用率较低的作物，如禾谷类作物就应该施用较腐熟的厩肥。早熟作物生长期短，就应该选择腐熟的厩肥和粪肥，晚熟作物和冬季作物由于生长期较长，可用分解程度较低的厩肥和粪肥。

土壤性质与厩肥施用也有密切的关系。在粘重的土壤上应选用腐熟程度较高的厩肥和粪肥，而且还要耕翻得浅些；在轻质土壤上可选用分解程度较低的肥料，并且耕翻得深些。因为厩肥和畜粪在粘重的土壤中分解得较慢，而在轻质土壤中分解得较快。除土壤条件外，厩肥的施用还须考虑到气候条件，如在降水量较少的地区，厩肥和畜粪宜选用腐熟程度较高的肥料，还须耕翻得深些。如在温暖湿润的地区，则可选用分解程度较低的肥料，可耕翻得浅些，因为在这种气候条件下，肥料能够很快的分解，腐熟。

总之，影响施用畜粪和厩肥的因子很多，应根据当时、当地的具体情况，抓住主要矛盾，用好畜粪和厩肥，就能为提高产量打好一个良好的物质基础。

## 第四章 堆肥和沤肥

堆肥和沤肥是我国农村沤制的主要有机肥料之一。这类肥料是用牲畜粪、粪草、草皮、杂草、绿肥、垃圾、河泥等混合不同量的泥土及水，经发酵堆制而成的。施入土壤中除能供给植物所需要的养分外，还有改良土壤结构，提高土壤肥力的作用，因此对提高当地农作物产量。

“不同质的矛盾，只有用不同质的方法才能解决。”北方地区由于年降水量及降雨日数少，加之水源缺乏，故常采用堆制方法来制造堆肥。南方地区，由于降雨多，水源充足，大多采用水浸造方法制成沤肥。两者虽熟沤制方法不同，但都是利用微生物的作用，在不同的通气条件下，将植物不易利用的养料转变为植物能利用的形态。

沤肥是水稻平原地区的一种农家肥料，由于所用材料、沤制方法的不同，因此名称也不一样，如水肥、草泥肥等。沤肥是草泥混合沤制，在后期因翻耕增加空气，也有经气分解，但以嫌性分解为主。沤肥是加速有机物的矿质化和腐殖质化，提高肥料品质。

沤肥的基本优点是：①制法简单。②材料来源广。③就地沤制，节约劳力。④有机物的分解靠嫌气发酵，腐殖质积累较多，氮素损失较少。

沤肥的基本条件：

①沤肥要经常淹水，保持深水层，隔绝空气，以造成嫌气发酵条件。使坑内温度日变幅小，蒸腾快，对保持养分有利。

②要注意原料配合。冬季及早春沤肥，用垃圾、枯秆等，应加入适量的人畜粪尿或污水；夏季沤制可用于料和青料配合。

③加粪引子。即用已腐熟或非腐熟的老沤肥接种，增加多

种微生物，加速沤肥分解腐烂。

④勤翻动。冬季二十至三十天一次，夏季五、六天一次，使材料上下里外受热一致，调整过强的还原条件，以利微生物活动，加速分解。每次翻动加入少量人粪尿，供给微生物分解时所需的氮素营养。

沤肥有较好的肥效，一般用作基肥，如能配合适量的速效性氮肥，增产效果将更显著。

具体情况要具体分析。我省地处黄河流域黄土高原的一部分，年降雨量平均在 450 毫米左右。正由于这种情况，所以沤肥在我省农村很少识别，反之，堆肥在我省则是一项重要的农家肥料。

堆肥可以分为一般堆肥和高温堆肥两种。前者发酵温度较低，后者是采用前期发酵温度较高，后期压紧的堆积方法，对促进堆积物质的腐烂及杀灭其中病菌、虫卵和杂草种子有一定的作用。

堆肥在堆制方式上，又可分为地面堆积法、坑内堆积法及半坑式堆积法三种。

“事物都是一分为二的。”各种堆制方法，各有所长，各有所短。地面堆制法其优点是制作道工，管理运输比较方便，但是在保温、保湿、保肥方面较坑内堆积法差。反之，坑内堆制法，虽有保温、保湿、保肥的优点，但是制作时费工，管理不便，又不便大堆积制。半坑式堆积法介于两者之间。所以选用哪种方式合适，要根据当地当时具体情况，选择合理的堆制方法。

我省堆肥的积制方法，由于各地气候、水源、材料来源、生产条件等不同，所以在堆制方法上也有差异，如太原的高温速成堆肥，雁北地区的冬肥，晋东南的沤合一肥等，方法虽然

不同，但出自于同一原理。其中大寨大队的玉米秸秆高温堆肥更有推广意义。

“真正熟知的是天下实践着的人。”大寨大队玉米秸秆高温堆肥方法，是大寨人在长期的农业生产实践中，经过多年的实践，认识，再实践，再认识的反复试验后逐渐创造出来的。它是大寨人科学种田的先进经验，是大寨大队“秸秆还田”中的三个措施之一，是农业科学的宝贵财富，它是利用玉米秸秆结合人粪尿堆制而成的一种农家肥料。是大寨大队的主要肥料，也是大寨粮食持续增产的主要措施之一。

近年来，大寨每亩施有机肥100担以上，其中秸秆肥的占到90-80%。实践证明：大寨长期来粮食产量持续上升是和逐年增施有机肥料有着密切的关系。陈永贵同志说得好：“粮食多，秸秆多，肥料多，粮食多。”辩证地说明了三者之间以田养田的有机关系。

秸秆肥料是一种完全肥料，后效期长，含有作物所需要的多种营养元素，并对培养地力，改良土壤，提高地温，保蓄水分等方面，具有化肥所不及的优点。秸秆在高温堆制过程中形成的高温高湿条件，对消灭隐藏在秸秆内的病菌和由害虫具有很好的效果。据试验观察，在堆制后三天，当堆内温度达到 $45^{\circ}$ — $58^{\circ}\text{C}$ 时，只需一天时间，谷茬内的400条粟尺蠖全部死亡。玉米黑粉病菌在堆内仅经过4-5天后，其发芽率也大大降低。

表6-11 堆肥堆制过程中对玉米黑粉病孢子的影响

堆肥堆制过程中对玉米黑粉病孢子的影响	0	2	3	4	5
堆肥堆制过程中对玉米黑粉病孢子的影响	33.3	15.0	14.0	3.0	1.8

一、堆制方法：采用“地面高温堆积法”，它的优点在于省工和便于操作。堆制时间一般在秋收后开始，充分利用冬季和早春农闲时间大量堆制。到清明前，将秸秆处理完毕，这对

于消灭秸秆内的越冬病虫害非常有利，同时也满足了生产上的需要。一般冬季气温较低，要30—40天，春季气温逐渐升高，约一个月就可以达到黑、烂、臭、湿的标准。具体操作过程是：

(一) 选地：选择背风、向阳、离水源近的地方作为堆积地点，以便于堆积时用水方便，堆内易于保温。为了运输和使用方便，堆肥场所可适当分散。

(二) 配料及处理：大致按照下列比例进行配料：

玉米秸秆（风干的）	1000斤
骡马粪（湿润）	600斤
人粪尿	200斤
水	约1500—2000斤

1. 先将玉米秸秆切碎，原则上是切碎得越细越好，使其接触面增大。一般长度以一寸半左右即可，这样既便于分解腐烂，又能多吸收水分和养分。

2. 加入人粪尿是供给微生物生命活动所需要的养分。任何一种精神和有机物，都要通过微生物的作用，才能分解腐烂，而微生物又需要一定的氮素、磷素及其它营养物质作为养料，才能进行生命活动。人粪尿的加入，正好满足了微生物这方面的需要，从而达到调节碳氮比的目的。骡马粪中虽然也含有这些养料，但是要供给大量玉米秸秆的分解是不够的。因此需要加入人粪尿。如果减少骡马粪的用量就要酌量多用一些人粪尿。

3. 加入骡马粪主要是用它作为微生物的接种剂，因骡马粪中含有许多能分解有机物的微生物，这些微生物能很快地把秸秆分解，同时可使堆内发生高热。此外，骡马粪的加入，也有供给微生物养分的作用。

4. 加入水分是为了满足微生物生命活动的需要。水分过多使堆内紧实，透气不良；水分过少，则影响微生物进行分解。

动。因此水分条件对于发酵分解的迟早和强弱有很大的影响。应视具体情况酌量加入水分，最合适的水分含量约为秸秆的60—70%，但实际堆积时，加入水分以能使每一节秸秆都能全部湿润为度。一般加入水分宁可略多一些，不要少了，多一些可以慢慢地渗到堆的下面，少了就会影响腐熟。

(三) 堆积：

1. 堆积的形状：以长方形为好，宽10—12尺，高4—6尺，长度视材料的多少而定，没有限制。堆积时不宜过高过宽，一方面不便操作，另一方面也要影响到堆肥的透气，从而也就影响到堆内微生物的活动，堆积时也不宜太低、太窄，否则堆内温度入不上升。此外，在堆积时，肥料重量不要紧挨墙，以利透气。

2. 堆积方法：先将铡碎的玉米秸秆堆成适当大小的长方堆，然后按比例将加入的骡马粪和人类尿均匀地撒在堆上，在堆的一头将玉米秆、骡马粪、人类尿垂直切下一部分，加水进行混合，将秸秆、骡马粪、人类尿、水三者充分拌匀，倒在一边堆积起来。如上操作，切一批，拌一批，堆一批，直至堆完。最后在堆上再泼一些水，并且在堆的表面复盖1—2寸厚的细土，以保持堆内的温度，防止水分蒸发和养分损失。

(四) 翻堆：按照上述方法堆成后，在整个堆制过程中，温度变化是十分明显的，除外界气温很低以外，一般五天内就可以发生较高的温度，高温发生后两三天，就可达70°C以上，最高可达80°C左右，这就表明了堆内微生物发生了剧烈的分解作用。一般在高温发生后十天或半月内进行一次翻堆，将堆积材料上下里外充分翻。翻堆后，堆肥温度暂时显著下降，稍后又至再发生高温（见图6-1），出现高温后十天或半月第二次翻堆，每次翻堆时应根据堆肥腐熟情况和生产需要，适当加



一些人粪尿，根据堆肥的干湿情况，可酌情加入适量水分，翻堆后均须重新覆土。翻堆次数，视玉米秸秆腐熟程度和生产需要而定。一般前期翻堆的间隔时间可短些，后期翻堆间隔时间可长些，这样既有利于迅速腐熟，同时对保存养分，提高肥料质量亦有一定的作用。

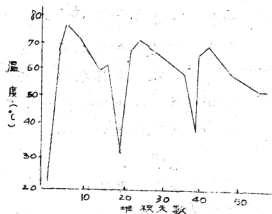


图6-1 翻堆前后温度变化曲线

## 二. 堆制过程中微生物活动的控制和调节:

堆肥的整个堆制过程，就是微生物活动的过程，所以如何控制和调节微生物的活动，对于加速堆肥腐熟和提高堆肥质量是有十分重要的意义的。影响微生物活动的因素是多方面的，其中主要有水分、空气、温度、原料中的C/N比和酸碱度等。在堆制过程中通过上述因子的调节，达到促进和控制微生物活动的目的。从堆制过程中温度的变化来看，一般可分为三个阶段即升温阶段、高温阶段和降温阶段。微生物在各个阶段的运动情况，可以通过堆内温度来反映。在不同阶段，应找出其主要的矛盾，采取针对性的措施，以促进和控制微生物活动。

**升温阶段:** 微生物在好气条件下，当存在有水溶性有机物如人类尿等的情况下，首先将迅速繁殖，并继而进行纤维类等物质的分解，不断释放出热量，但因肥堆表面覆土，热量不能很快散发，因此肥堆温度急剧上升。可见在这一阶段中应创造适合于微生物迅速繁殖和促进微生物活动的条件。大寨大队采取了堆积时不加土；而加入较多的水溶性有机物和适量的水分；在堆积过程中，不拍打紧实，而采用疏松堆积的方法；堆

积完柴后，在堆的表面覆盖一层土，这样就给微生物创造了良好的条件，使肥堆温度迅速升高。

**高温阶段：**由于微生物的活动，堆内温度不断上升，“中温性微生物”逐渐被“高温性微生物”所取代，这时便进入高温阶段。“高温性微生物”对于纤维素、半纤维素等复杂有机物的分解能力十分强烈。在这个阶段中控制适当的温度和维持一定的时间，对加速分解和提高堆肥质量有很大的影响。大寨大队采取及时翻堆的措施，使堆内温度经常保持在 $60-70^{\circ}\text{C}$ 之间，同时还起到调节通风和腐解均匀的作用。

**降温阶段：**由于堆内有机物质的逐渐腐解，微生物在分解有机物质过程中产生的热量逐渐减少，堆内温度逐渐降低，“高温性微生物”将被“中温性微生物”所取代，这时进入降温阶段。在此阶段中尚未分解的有机物质将进一步分解，使肥堆趋于腐熟。在翻堆表面覆土，防止水分损失，是本阶段的主要措施。

**关于酸碱度的调节问题：**微生物所需的生活条件，除了养分、水分、空气、温度外，还要求一定的酸碱度。在酸性条件下是不适宜高温纤维菌活动的。因此一般在堆制过程中，有必要加入适量的石灰等硷性物质来中和腐解过程中所产生的游离酸，以加速腐解。但大寨大队地处石灰性土壤地区，土壤中碳酸钙含量一般较高。每次翻堆时，将堆表覆土均匀地和玉米秸秆搅和，即可起到调节酸碱度的作用。此外，本区水质较硬，也具有部分调节酸碱度等硷性物质。

### 三、推广秸秆高温堆肥法应注意的几个问题：

- (一) 要正确解决饲料、肥料、燃料三者之间的矛盾。
- (二) 在水源缺乏的地方，应充分利用玉米秸秆中所含的水分，玉米收获后，突击堆肥或者采用积雪堆肥的办法。有条件

的地方也可以通过打旱井等措施来解决堆肥用水的问题。

(三) 注意避免将玉米秸秆切的很长，否则不易腐熟。同时在堆制时和翻堆时一定要搅拌均匀。

(四) 堆肥配料中，各成分的用量并不是一成不变的，可以根据当地当时的具体条件来决定。此外，也还可以用老堆肥来代替骡马粪，用化肥来代替人粪尿。

(五) 肥料腐熟后，应将肥堆拍打紧实，并在肥堆表面覆土，造成嫌气条件，减弱微生物的分解作用，以便保存，免于损失。

## 第五节 绿肥

凡是利用野生的或栽培的植物的茎叶直接翻入土中（俗称压青）或对割后堆沤的肥料称为绿肥。做为肥料而栽培的作物称为绿肥作物。我国自古以来就有应用绿肥的习惯，远在三千多年以前就已开始利用绿肥了。周代礼记月令有载：“仲夏之月，利以耒耨，可以耨田畴，可以美土疆。”后魏贾思勰著“齐民要术”中载有：“美田之法，绿豆为上，小豆胡麻次之……”。从古代农谚中也可称颂绿肥的作用，如“猪粪红花草，农家两个宝”，“草子种三年，坏田变好田”，“绿肥是件宝，种田离不了”，“一年红花草，三年好地脚”等农谚。这些都说明我国劳动人民在绿肥的应用上累积了丰富的经验。

绿肥是我国农业生产上的重要肥源，它与农业生产的发展有很大的关系。我国南方各省普遍有栽培绿肥的习惯，许多水稻高产地区也是普遍栽培利用绿肥的地区。如四川成都平原，湖南滨湖地区，江西宜春地区，江苏太湖流域，浙江东部沿海平原等，北方地区绿肥也有发展。陕西晋南，吕梁，陕北等地区也都有栽培绿肥的习惯。

解放后，党和政府一向重视绿肥工作，在“全国农业发展

纲要”中就指出：“应当因地制宜地积极发展各种绿肥作物。”历年來中共中央国务院关于肥料工作指示中都提到绿肥，1959年1月发布的指示中特别提到“……加强绿肥的田间管理，因绿肥是早稻的主要基肥……”由于领导重视，绿肥的种植面积扩大了，产量也大有提高，为发展农业生产提供物质基础。

绿肥作为一种肥料，具有很多优越性。

第一：经济易得。绿肥生产一方面有广大的生产基地，如休闲地、空隙地以及利用茬口广泛进行间种套作；另一方面生产成本低，一亩绿肥至少可以解决1—2亩地的基肥，且费工少。故种植绿肥是解决肥料不足的重要途径。

第二：施用方便。就地种植，就地施用，解决运输劳力问题。这对于改良远地低产田及提高作物产量具有重要意义。

第三：兼作饲料。绿肥富含蛋白质，灰分，维生素及各种养分，是牲畜的优良饲料，北方的紫苜蓿，南方的苕子，紫云英等是广泛利用的青饲料，晒干后又是冬季优良的干饲料。因此，推广绿肥，不仅解决了肥源，也解决了饲料，对促进畜牧业的发展起着重要作用。

一、绿肥在农业生产上的重要意义：

(一) 增加土壤养分，提高土壤肥力：目前栽培的绿肥作物大多为豆科植物，它们富含有机质及氮素。有机质一般在15%以上，氮素一般在0.4—0.6%之间，它还可以借助根瘤菌的作用固定氮素，一般每亩绿肥根瘤菌的固氮量在6—24斤之间，即相当于硫酸20—40斤，这个数字是极其可观的。

(二) 增加土壤有机质，改良土壤性状：一般生长较好的绿肥，每亩绿色体的产量可达5000斤左右，将其翻压入地里可以提高土壤有机质含量，改善土壤的理化性状，提高了土壤肥力。

(三) 加强土壤的熟化过程：绿肥作物利用土壤中难溶性养分的能力比较强，这些难溶性养分经绿肥作物吸收利用后构成植物体，翻压后经分解，这些养分又释放出来，供后茬作物吸收利用。另外，绿肥作物的根系都比较发达，能吸收深层土壤的营养，从而丰富表层土壤养分的含量，同时由于深层根系的活跃，可以活化深层土壤，加厚活土层。此外，绿肥在分解过程中所产生的有机酸可以增加难溶性养分的溶解度，有利于作物的吸收利用。

(四) 防止土壤侵蚀和土壤盐渍化过程：由于土壤有机质含量的增加，改善了土壤结构性能，提高土壤的吸水及保水力。大量绿色体的覆盖可以减少土壤的冲刷，这对于山区水土保持具有重要意义。

在盐碱沼泽地及下湿地土壤上种植绿肥，能改善土壤结构，增加覆盖面积，减少土壤表层水分蒸发，减少盐分向上移动，从而降低土壤的盐渍化过程。如江苏盐碱地区试验结果指出：含盐量达0.2%的土壤连续种植绿肥二年，0—40厘米土层的脱盐率平均达到68.24%，连续种植三年，脱盐率达到84.21%。

## 二、几种主要绿肥的特性及栽培要点：

绿肥的种类很多，在南方常见的绿肥作物有紫云英、苕子、三叶草、油菜、肥田萝卜、蚕豆、金花菜及一些水生绿肥：水浮莲、革命草、红萍等，在北方常见的有：紫穗槐、苜蓿、草木樨、绿豆、豌豆、蚕豆、田菁、毛苕子等，现介绍几种适于北方栽培的绿肥作物的特性及其栽培要点。

### (一) 苜蓿：

紫花苜蓿为多年生草本宿根性豆科植物，主要分布在西北及华北南部地区，我省晋南地区栽培较广。紫花苜蓿有强大的根系，茎叶含养料很多，是最好的饲料，一般新鲜苜蓿中含水

分80.5%，N 0.56%，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.18%，K<sub>2</sub>O 0.31%；干物质含水分16.5%，N 0.16%，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.53%，K<sub>2</sub>O 1.49%。

紫花苜蓿适应性很强，除了过于潮湿粘重的盐碱化和酸性土壤外，一般的沙土，粘土地都能生长。最适于富含石灰质，排水良好的沙壤土。也可利用荒坡隙地种植。播种一次能生长七、八年，以第二、三年为最旺盛。

紫花苜蓿可以春播，夏播和秋播，晋北地区以春播为宜，晋南以秋播为宜。播种方法除单播外，还可采用间作，春季可同谷子、春麦、苜蓿间作，夏季可与荞麦、糜子间作，秋季可与冬小麦间作。播种量一般在2斤左右，播深1寸左右，做为绿肥用的，一般每年可刈割2—3次。

(二) 草木樨：

草木樨是1—2年生豆科草本植物，普遍栽培的有白花草木樨和紫花草木樨两种。植株高六、七十厘米，根肥而密，可达一米左右。草木樨对环境的适应性广，南北方都能生长，但宜于半干燥或温湿的气候。适于一般土壤，尤其在石灰性土壤上生长良好，能耐贫瘠土壤。它的耐旱耐盐性很强，根系发达，能吸收土壤下层的养分，对养分的吸收力强，特别是对难溶性磷的吸收力强。茎叶中含养分多，鲜草中一般含N 0.52%，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.04%，K<sub>2</sub>O 0.19%，是华北地区良好的绿肥作物，在晋省晋北、晋西北山区较多。并可兼作饲料，同时又是水土保持的良好覆盖植物。

草木樨可春播也可秋播，一年生种多为春播，北方有的地区在春季解冻后撒在小麦行间，小麦收获后让其单独生长，到当年种小麦前30—50天翻压作基肥。压青的每亩播量3—4斤，苗种用的2斤左右，播深1寸左右。草木樨种子的种皮很硬，吸水困难，故播前需经种子处理，即用砂子搓掉种子，以打破

种皮即可。最好用上年的陈种播种，发芽率较当年种高。若用陈种可不须种子处理。

### (三) 紫穗槐：

紫穗槐是多年生的豆科落叶灌木，叶子似洋槐，枝叶的营养含量多，收获量高，并可多年利用，所以是一种很好的绿肥作物。它的适应性很强，耐盐硷，耐旱，对土壤要求不严，能在瘠薄的土壤上生长，但幼苗期需水较多，甚期缺水容易枯萎，而寒力差。

紫穗槐中养分含量比较多，新鲜的枝叶中一般含N 1.32%， $P_2O_5$  0.30%， $K_2O$  0.79%，绿色体产量也很高，是华北地区有发展前途的绿肥作物。我省晋中铁路两旁有种植的。

紫穗槐的繁殖能力很强，普遍采用种子繁殖的，也可用插条繁殖。育苗的播种时间，在华北一般是四月中旬至五月中旬，宜采用窄行条播，播量每亩7—10斤，播深1.0—1.5寸，第二年春季即可进行移植。直播亦可，不过要在雨季进行，即六月上旬至七月初。插条繁殖要在雨季进行，可取一年以上的枝条作为插穗，切成6寸左右长，斜插在土中，上部留一、二芽露出地面。紫穗槐种子的种皮坚硬，吸水困难，在播前需经过浸种催芽。

紫穗槐一般一年可收割2—3次，根据生长情况而定。割取的枝条可直接沤制成堆肥，也可翻压入地里。

### (四) 田菁：

田菁是一年生豆科植物，植株高达6—10尺，根部发达，枝叶茂盛。耐盐（土壤盐分在0.5%以下的都可生长），耐涝，生长迅速，最适于我省盐硷下湿地栽培。

田菁养分含量较高，鲜草中含N 0.50%， $P_2O_5$  0.07%， $K_2O$  0.15%。田菁不仅可以改良土壤，培养地力，且它的水

叶茂盛，有遮盖作用，可以防止土壤水分蒸发与返盐。是一种很好的盐硷地之绿肥作物。田菁还是良好的饲料。

作为绿肥用的田菁可于六月中旬播种，播种量每亩4—6斤，播深1.0—1.5寸，播前种子须进行处理，可与砂碾搓，用温汤浸种最好。

#### (五) 毛苕子：

毛苕子为一年生豆科植物，是华北及西北南部地区具有发展前途的水地冬播绿肥作物。耐寒，耐碱，抗旱，但发芽时要求水分严格，在二寸深土层内含水量低于10%时不发芽。新鲜绿色体中含N 0.56%， $P_2O_5$  0.13%， $K_2O$  0.03%。

毛苕子一般在七月中旬至九月中旬播种在中耕作物玉米，棉花等行间，每亩播量6—10斤。播种时每亩三斤左右，播深1寸左右，是我省晋南棉区较有前途的一种冬季绿肥作物，近年来在雁北地区也有种植。

毛苕子种子有20—30%硬籽，不易吸水，发芽困难，播前须经种子处理，与粗砂一起碾磨，擦伤种皮，然后用两开一凉温水泡六小时，或用冷水浸十二小时，晾干播种；若播时土壤墒情不良，不宜浸种，碾破种皮后即可播种。

#### (六) 绿豆：

绿豆是一年生豆科植物，是粮食作物之一，也是一种常见的绿肥作物。它喜温，生育期间需要高温，生长期短，约70—110天。绿豆适宜于沙壤土，土壤反应以中性较佳，但在种性度的盐硷土或酸性土上也能生长。在我省晋南地区用绿豆作绿肥的较为普遍，在麦收后播种绿豆，一般生长50天左右就可翻压作为小麦的基肥。绿豆鲜体含N 0.52%， $P_2O_5$  0.12%， $K_2O$  0.03%。

在晋南地区绿豆的适宜播期为六月中、下旬，最迟不能晚



于六月末，播量每亩3—4斤，作绿肥用的播量可达5—10%。

### (七) 柘麻：

柘麻又名荻麻，太阳麻，是一年生豆科植物。福建、广东、广西、江苏等省份栽培较多，近年来我省晋南地区也开始种植。

柘麻株型直立，高2—3米，主根肥大，是一种产量高，生长快，短期可以利用的绿肥。从出苗到割青一般只有50—70天。它耐酸，耐瘠，耐旱性强，也能耐湿和耐盐硷，可以在含盐量0.3%以下的盐硷土上良好生长。在石灰性冲积土及红壤地区都可种植。鲜体内含N 0.78%， $P_2O_5$  0.15%， $K_2O$  0.30%。

柘麻对整地要求不严格，播种期从五月中旬至七月上旬均可，间种者不能迟于五月底。播量每亩五斤左右，条播行距以8寸（收草）至1.5尺（收料）为适宜。播深1.0—1.5寸，播前种子需进行搓种处理。

一般在出苗后50—60天植株尚未显著木质化时，可刈割切碎，撒入地里耕翻作为肥料，或制成堆肥。柘麻生长快，刈割后再生能力强，因此是很好的绿肥作物。

### (八) 雁石一号野豌豆：

雁石一号野豌豆是一年生豆科植物，株高一般4—6尺，根茎发达，主根深达4尺左右，侧根很多，并着生有大量根瘤。鲜体中含N 0.67%， $P_2O_5$  0.07%， $K_2O$  0.41%。

雁石一号野豌豆适应性广，不论在坡梁地、平川地和滩湾地或是沙壤土、红胶泥、黑圪土上均能种植。并具有较强的抗逆性，抗寒性强，苗期能忍受零下 $10^{\circ}C$ 的低温，耐旱，耐涝能力都很强，还具有耐盐硷能力，当土壤含盐量在0.25%时仍能正常出苗，开花期和结荚期土壤含盐量在0.4%以下时，仍能正常生长。同时耐瘠薄，抗风蚀，是一种很好的绿肥作物。在我省雁北地区已开始推广，在右玉县已大面积种植，甚受欢迎。

雁右一号野豌豆在雁北地区一般在四月中、下旬播种，七月上、中旬开花，九月中、下旬成熟。从种到收一般为103—164天。作为压青或饲料用者，宜在五月上、中旬播种，鲜草产量较高。播种量若以收获为目的的，则为3—4斤，若以压青为目的的，则以6—8斤为宜。可以条播，也可以撒播，有的与麦混播。播深1.5寸左右。

### 三、发展绿肥生产的几个关键问题：

(一) 合理安排茬口：在“以粮为纲，全面发展”方针指引下，既要保证粮食增产，又要为进一步稳产高产准备物质条件。为了不影响复播面积的扩大，合理安排茬口是扩大绿肥栽培的关键问题。在目前情况下，特别是在地少人多的地区，不可能专门划出一些地块来种植绿肥，所以茬口安排不好，绿肥就不能发展。因此，应当根据农事季节，见缝插针，巧妙安排。在老茬荒地夏季休闲期应安排一季夏季短期绿肥，冬季不太寒冷的休闲地也应安排一季冬季绿肥，幼龄果园的空闲地和普通果园夏秋之季也应安排一季绿肥作物。近年果农省水稻栽培面积有所扩大，可在插秧之前于本田安排一季绿肥作物，不少地区推行玉米与豆类间作，是很好的经验。在雁北、晋西北地广人稀的地区更有条件发展绿肥作物。

(二) 充分利用所有道旁、路边、堰边、渠沟旁、荒坡、沙滩和盐碱沼泽地，因地制宜地选择各种绿肥作物栽培。这对水土保持、提高土壤肥力、增加肥源和提高作物产量都具有重要意义。

(三) 为了获得尽可能多的绿色体产量，适当密植是必要的。但是绿肥一般都是在开花期翻压或收割的，故绿肥种子的获得就成了问题，因此，适当开辟绿肥苗种地，保证有足够的种籽是一个很重要的问题。

(四) 加强绿肥的田间管理：应当改变不重视绿肥田间管理的习惯，加强管理，应进行适当的施肥，特别是供给钾肥，并适当施些氮肥，以达到“以钾冲氮”，“以小肥养大肥”的目的而获得更多的绿色体产量。

(五) 大力发展水利事业：干旱是影响绿肥发展的主要原因之一，它影响到播种、出苗以及生长发育，同时由于干旱绿肥翻压入土不易分解，影响到后茬作物的播种，因此，抗旱保墒，兴修水利，是发展绿肥生产的重要保证。

#### 四、绿肥的利用：

(一) 直接耕翻压青。这是简单易行的方法，也是目前最普遍推行的。翻压时间合适与否是一个很关键的问题，不能过早也不能过迟。“过嫩一铺水”，“过老一把渣”。一般翻压的合适时期是始花期至盛花期，这时期绿色体产量最高，而且翻压后也易于腐烂。但必须根据具体情况主动灵活掌握，不能生搬硬套而犯教条主义的错误。而要根据当地的气候条件，土壤湿度，绿肥的种类以及后茬作物的播种期而灵活掌握。如遇干旱季节就不宜耕翻，以免翻入土中不易腐烂反而造成不良的后果。

(二) 刈割后堆沤成堆肥：在干旱地区和旱地，绿肥翻压后不易分解腐烂，故最好沤制成堆肥施用，同时制成堆肥后可以更合理地为前后茬作物安排肥料。

(三) 做为家畜饲料，用家畜粪尿作肥料。这是利用绿肥的经济有效方法。既解决了家畜饲料问题，又解决了肥料来源，既发展了畜牧业，又为农业的发展提供了大量肥源。这对当前大力发展养猪积肥具有现实意义。所以，以绿肥作饲料是经济合理利用绿肥的最好途径，必须大力提倡推广。利用草木栖做饲料时须注意，因其中含有香豆素，牲口吃后易引起腹胀。

至死亡。故在有露水时，或下雨和雨水未干时不宜放牧。最好割回晒至萎蔫时喂养。

(四) 一般栽培的绿肥作物多为豆科植物，体内含N多，磷钾少，因此必须配合磷钾肥以及其它肥料的施用，以保持养分的平衡，达到提高农作物产量的目的。

表6-12 几种主要绿肥的营养含量

绿肥种类	鲜 草 (占绿色体%)				干 草 (占干物质%)		
	水分	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
紫花苜蓿	80.5	0.56	0.18	0.31	2.16	0.53	1.99
草木樨	80.0	0.52	0.04	0.19	2.46	0.38	2.16
紫穗槐	60.9	1.32	0.30	0.79	3.02	0.68	1.81
田菁	80.0	0.52	0.07	0.15	2.60	0.52	1.68
绿豆	—	0.52	0.12	0.93	2.08	0.52	3.90
苕麻	—	0.78	0.15	0.30	2.98	0.50	1.10
毛苕子	82.0	0.56	0.13	0.03	3.11	0.72	2.38
野豌豆	—	0.67	0.07	0.41	—	—	—

## 第七章 广开肥源

伟大领袖毛主席深刻指出：“肥料不足是农业生产上存在的极为尖锐的问题。”因此，广开肥源，积极挖掘生产潜力，做到“上万斤肥，打千斤粮。”是摆在我们面前的首要任务。

全国农业发展纲要（修正草案）指出：“农业合作社应采取一切办法，尽可能由自己解决肥料的需要。应当特别注意养猪（有些地方养羊），……要做到猪羊有圈，牛马有栏。还应当因地制宜地积极发展各种绿肥作物，并且把城乡的粪便，可做肥料的垃圾和其他杂肥尽量利用起来。”这给我们指出了广开肥源的途径。在解决肥料问题上仍应贯彻“农家肥料为主，化学肥料为辅”的方针。批判那种向国家伸手要化肥的错误思想，积极开辟肥源，为农作物进一步高产准备物质基础。

农家肥料来源广泛，广大劳动人民在长期的生产斗争中已经积累了丰富的经验，除了前一章所介绍的几种主要农家肥料外，各地区广泛利用各种土杂肥，如泥土肥、坑土、粪土、泥炭、墙土、城乡垃圾、污水、工农业废弃物、家禽粪便等等。无产阶级文化大革命以来，群众性的科学实验活动蓬勃发展，各地大搞“九二〇”、“五四〇六”、“七〇三”、固氮菌、根瘤菌等。各种菌肥及生长刺激素。在农业生产上发挥出很大作用，同时还积极开展土制化肥运动，因地制宜，就地取材，生产出多种优质的土化肥，解决了肥料不足的问题。近年来在陕西、山西、河北、山东等省广大贫下中农大力开发利用肥水，积极寻找肥水资源，挖掘生产潜力，为广开肥源开辟出一条新途径，我们要遵照毛主席“农业学大寨”的教导，发扬“自力更生”精神，总结各地经验，大力挖掘肥源，解决本单位肥料不足问题。

## 第一节 泥土肥类

## 一、泥肥

我国劳动人民利用泥肥已有悠久的历史，《王桢农书》（1313年）中载有：“于沟港内，乘能以竹夹取膏泥，拭溪岸上，厚定裁成块子，担去同大粪和用，比常粪倍力甚多。”《农政全书》（1628年）中载有：“生泥经融水中之粪，比粪粪力之倍，彼实繁而不露。”这些都说明了我国农民早就有了利用泥肥的习惯。

## (一) 泥肥的种类、成分和性质：

目前农村利用泥肥主要是沟泥、河泥、塘泥、湖泥等。在南方各省应用很普遍。泥肥为什么能有肥效呢？这是因为下雨时，由于地表的径流，把岸旁土壤表层的肥沃土壤，汇流到沟、河、塘中沉积下来，加上水生和植物的遗体 and 排泄物等，逐渐腐烂分解融合而成的。因此泥肥中富含有机质及各种矿物质盐类等。

根据全国各地的分析，沟泥、河泥、湖泥、塘泥等四种泥肥平均含有机质 5.09%，N 0.33%， $P_2O_5$  0.34%， $K_2O$  1.62%，速效N 214 PPM，速效磷 57 PPM，速效钾 193 PPM，见表 7-1。

表 7-1 几种泥肥养分含量

项 目	沟 泥	湖 泥	河 泥	塘 泥	平 均
有机质 (%)	9.37	4.46	5.28	2.45	5.09
N (%)	0.44	0.40	0.29	0.20	0.33
$P_2O_5$ (%)	0.49	0.56	0.36	0.16	0.34
$K_2O$ (%)	0.56	1.83	1.82	1.00	1.62
$NH_4-N$ (PPM)	100	—	1.25	273	203
$NO_3-N$ (PPM)	—	25	1.40	6	11
速效磷 (PPM)	30	18	2.80	97	57
速效钾 (PPM)	—	55	17.5	245	193

泥肥中养分含量，以靠近市镇、村庄的比较高。从表7-1中可看出：泥肥中虽然N、P、K及速效养分含量并不高，但有机质含量是比较高的，因此，能调节土壤营养元素的供应，施用量大时，能加厚活土层，改善土壤的理化性状。

泥肥是一种冷性肥料。由于长期浸水，故还原性物质较多，若直接施用对作物有害，须经晒干风化后施用。

#### (一) 泥肥的施用和效果：

施用泥肥一般是把挖掘的泥肥晒干、打碎，然后作为基肥或追肥施用。因为它是冷性肥料，故施于阳坡地、砂质地上效果较好。泥肥的肥效比较缓慢，多做为基肥用。

由于泥肥是迟效性肥料，故须配合速效肥料的施用，才能发挥其增产效果。

## 二、土肥：

土肥包括炕土、熏土、老墙土、硝土、地皮土等，是我国农村普遍使用的农家肥。

#### (一) 熏土：

熏土也叫熏肥、火炭、火土、烧土。它是用稻草、柴叶、茅草、秸秆、茬子等作为燃料，在低温缺氧的条件下，将土壅制成的肥料。这是我国劳动人民在长期的生产斗争中创造出来的积肥造肥的一种方法，解决了一部分肥料不足的问题，在我国许多地区特别是山区农村比较普遍，我省不少山区也有施用的习惯。

#### 1. 熏土为什么能肥田？

根据各地试验研究，土壤经过熏烧后，增加有效养分的含量。表7-2。

表7-2 土壤熏烧后养分的变化

处理	有机质 (%)	NO <sub>3</sub> -N (mg/100g)	NH <sub>4</sub> -N (mg/100g)	有效磷 (mg/100g)	有效钾 (mg/100g)
未熏土	2.65	1.72	1.14	2.6	0.98
熏烧土	2.70	2.8	1.92	10.01	1.80

从表7-2中可以看出，土壤经过熏烧后，速效养分的变化是比较显著的，这是因为加速了有机物质的矿质化过程，将原来植物难以利用的有机态氮变成使而被土壤颗粒吸附起来，同时燃料经燃烧后放出的铵也被土壤颗粒吸附起来，因而增加了速效态氮的含量。至于有效磷、钾的增加，主要是燃料经过燃烧后变成灰，增加了磷、钾的含量，同时土壤中有机的磷经熏烧后，一部分转变成可溶性磷，粘土矿物晶格中的钾离子也由于晶格被破坏而释放出来，所以提高了有效磷钾的含量。

土壤经过熏烧后，其性质也发生了变化。在低温燃烧不完全的情况下，土壤颜色加深，保温吸热能力都有增加，粘着力减少，孔隙度加大，土壤疏松，这对耕作与植物幼苗和根深发育都有良好影响。同时由于粘土矿物晶格被破坏，表面根增加，提高了阳离子的代换量，这对保存养分有重要意义。

表7-3 土壤灼烧后对阳离子代换量的影响

土壤类型	阳离子代换总量 (毫克当量/100克土)	
	未 烧 前	250-300°C 烧四小时
棕色森林土	0.50	17.84
	10.25	16.25
黄 圃 土	25.16	58.24
	22.80	55.39

此外，土壤经过熏烧后，还可以消灭地下害虫及病菌，起到一定的土壤消毒的作用。



2. 熏制方法

在长期的生产斗争中，广大贫下中农创造出许多种熏制方法。但总的来说可分为两种：即明火熏烧和暗火熏烧。明火熏烧温度高，有机质损失多，肥效低；暗火熏烧温度低，有机质损失少，肥效高，我们提倡暗火熏烧，现介绍几种暗火熏烧方法：

① 坑道熏土法：在准备施肥的地里用铁锹挖一尺深，7—8寸宽，7—8尺长的三条并行沟，沟与沟间相隔7—8寸，然后在距离沟两端2尺左右的地方，再挖两条横沟，横沟宽、深与竖沟相同，这样使三条竖沟相互连通，竖沟的方向一般是南北向，北端留风口，以便点火（见图7-1）。沟挖好后，沟

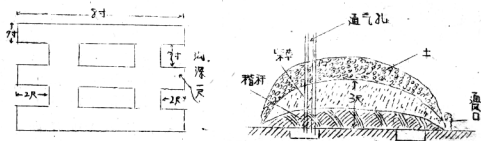


图7-1 坑道熏土示意图

底填1—2寸厚的细土，如用稻草等作燃料时，可放置在沟底细土上，堆到三尺左右高。然后在背风的一端，离中间一条沟口约2.5尺的地方，竖立一把稻草，周围盖上几块大土块，前作通气孔。柴草堆好后，用土盖好，顶部盖土7寸厚，四周5寸厚。在中间一条竖沟的迎风一端留作点火口，然后在点火口周围压几块较大的土块，土块上面再盖上一层细土，只留约1寸大小的小圆孔作为小通风口。点火熏烧数天后，柴堆全部燃完，土块和细土就变成黑色，成为肥料。经打碎后，做为基肥施用。

坑道的挖法有多种多样，有的是十字形的，即十字交叉挖

二条沟，上面铺柴草，然后再盖土，迎风面留通风口，背风面留一通气孔。

在1958年大跃进运动中，我省夏县广六贫下中农大搞坑道熏土，解决了大量肥源。他们总结出坑道熏土的七处好处：第一，可以从根本上解决肥料不足的困难；第二，可变害为利（消灭杂草）节省资金；第三，解决了运输力不足困难，大大地节省了劳力；第四，可以杀除地面上和地下的部分农作物害虫；第五，可以改良土质，增加有效养分；第六，通过挖地道，易于进行土壤探墒；第七，可以更大限度地提高烟的利用率，使熏肥质量大大提高。

②牛尾巴灶熏土法：此法简便，家户都可进行，不需专用燃料，利用做饭的余热和烟即可熏制。其方法是：将烟圈引出墙外，在墙外筑一土台，土台上垫放大土块，大土块上再盖

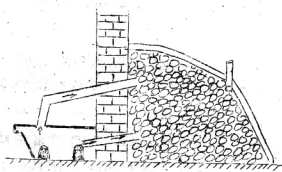


图7-2 牛尾巴灶熏肥法示意图

细土，然后用泥浆封好。砌好的土堆要高出烟圈口四寸左右，土堆的末端要凿个小烟圈出烟，烟从锅灶出来后，在大土块间隙循环流通，最后从土堆的小烟圈逸出（见图7-2）。

③锅灶烧土法：此法更简便，可发动群众家户常年积肥。其做法是：在烧饭时将土块摆放在锅灶周围，利用做饭的柴草进行熏烧，经熏烧后的土块呈黑色，人口多的户，一顿饭就烧熏一次，人口少的家，两顿饭也可烧一次。浑源县什仪号大队采用锅灶熏土法，一个3—5口之家，一冬春能熏烧520

—1000斤熏土。

此外，如晋东南地区利用根茬熏土，晋南曲沃地区的土坯烟道熏肥法等都是利用暗火熏烧，以获得一定质量的熏肥。

3. 熏土时应注意的几个问题：

①掌握“见烟不见火”，温度控制在 $200-300^{\circ}\text{C}$ 之间：土壤经过熏烧后，有机质总有不同程度的损失。据东北农科所研究，有机质的含量随熏烧时温度的增高而迅速下降，而有效磷、钾则急剧上升。在 $100^{\circ}\text{C}$ 条件下对有机质的含量并无影响，当温度增至 $200^{\circ}\text{C}$ 时，有少量的有机质分解损失，含量由原土的 $2.65\%$ 降至 $2.04\%$ ，损失了 $23.02\%$ ，当温度增至 $300^{\circ}\text{C}$ 时，有机质含量迅速下降，由原土的 $2.65\%$ 降至 $0.76\%$ ，损失了 $68.32\%$ 。如增至 $500^{\circ}\text{C}$ ，则有机质几乎全部损失。

与有机质的趋势相反，有效磷钾的含量却随着温度的增高而急剧增加，在 $500^{\circ}\text{C}$ 范围内，温度越高，有效磷钾的含量也越高，有效磷最高可增加至三倍以上，有效钾可增加六倍以上。

在 $200-300^{\circ}\text{C}$ 范围内，虽然有机质稍有降低，但速效氮的含量却有增加，这具有重要的意义，增加速效态氮含量是熏土的主要目的，因此，温度应控制在 $200-300^{\circ}\text{C}$ 范围内，掌握“见烟不见火”的原则，但烟不能太旺，不可冒出太旺，这样熏成疏松而带黑色的泥土，才具有较高的肥效和良好的性能。如果烧成砖红色，那就过头了，肥效很差。为了做到“见烟不见火”，燃料应保持有一定的湿度，必要时可混入一些细土，用根茬熏土容易做到这一点。

②熏土时间：一般说熏烧的时间愈长则效果愈好，但时间也不能太长久，否则，一则消耗多量的燃料，二则不能在一定的时间内获得更多的熏肥，一般不应少于三天，最好维持5—

7天，必要时可达10天左右。

③土与柴草的比例：燃料比例越大越好，但比例太大也不经济，一般柴草比例占6%左右，不得少于2—3%。

④土壤的选择：土壤质地愈细，熏土的质量愈高，因质地细的土壤对氮的吸收力强，同时本身含磷、钾多，释放出的磷钾也多，故应选择粘土、重壤土等，不宜用沙土或沙壤土。

表层土壤有机质含量高，经熏烧后有机质损失也大，所以不宜选用表土，应选择层土做为材料。

⑤熏土虽有提高肥效的效果，但土壤水分损失很大，特别是炕道熏土对土壤表层水分损失很大，这对少雨干旱地区的保墒工作不利，因此对于这类地区最好采用其他的办法解决肥源问题。

⑥熏土适于人少地广，秸秆、根茬丰富的山区。对于那些秸秆、柴草数量有限的社队来说，最好还是利用秸秆等堆制成堆沤肥使用更为经济合理。

#### 4. 熏土的施用和肥效：

由于熏土的原料不同，熏烧的方法和时间上的差异，以及土和柴草的比例不同等。原因，其中养分含量有很大的出入，一般说熏土中含N 0.18%， $P_2O_5$  0.13%， $K_2O$  0.40%。

熏土是热性肥料，据群众反映劲足，能使土壤疏松，能防寒保苗，故施于背阴潮湿地里效果更好，熏土的肥效还是很明显的，据福建省农科院的调查分析，熏土比不熏土的增产76%，我省晋东南群众也认为熏土对麻有良好效果，熏土一般做为基肥施用。

熏土中有机质含量少，所以应配合秸秆肥的施用，同时其中的养分含量比较低，故还需配合化肥的施用。

#### (二) 炕土：

炕土实际上是熏土的一种，在我国北方应用很普遍。炕土肥田的原理与熏土同，但由于炕土是经过长时间的烟熏，所以肥效较熏土为高，据西北农学院的分析，炕土的营养含量与年代长久有关。表 7-4

表 7-4 不同年代炕土的营养含量

炕土年代	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)
1年	0.22	0.24
2—3年	0.35	0.71
5年	0.32	0.71
10年	0.44	0.73
12年	0.46	0.73
20年	0.56	0.70

为了增加肥源，炕土一般在一年一换或二—三年一换为宜。炕土中的营养成分也随各种条件的不同而变动很大。据西北农科所和西北农学院分析，炕土营养成分如表 7-5。

表 7-5 炕土的营养含量

项 目	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	速效N (PPM)	速效P (PPM)	速效K (PPM)
平 均	0.28	0.33	0.76	953	58	1485
最 高	0.58	0.73	1.34	1890	110	2500
最 低	0.08	0.09	0.26	55	20	200
样 品 数	20	19	10	7	4	4

炕土的性质及施用同熏土。

(三) 硝土、老墙土、地皮土、道土：

含有硝酸盐的泥土叫做硝土。老墙土、地皮土及道土都是常见的硝土。硝土是我国农村常用的肥料之一。广大贫下中农

对硝土的评价很高，如农谚有：“十年硝土窑菜枯(饼)”，“家里土，地里灰”。这些都说明硝土类的肥效还是很高的。

硝土类中硝酸盐的主要来源是由于土壤中的含氮有机物经各种微生物的分解作用，最后生成硝酸，然后与土壤中的 Ca、Mg、K、Na 并元素化合或硝酸盐，这类硝酸盐在不受淋溶的情况下，就累积在地表。据湖北农科所的分析如下：

表 7-6 硝土与一般土壤养分含量的比较

类 别	全 N (%)	有机态 N (%)	NO <sub>3</sub> -N (PPM)	NH <sub>4</sub> -N (PPM)
地 皮 土	0.241	0.182	1360	31
老 墙 土	0.259	0.169	860	47
当地耕田土壤	0.105	0.103	7	16

墙土和地皮土中的硝酸盐主要是由于人和家畜的粪尿和生活废弃物，污水等排在地面，液体部分被土壤吸收，而其中的含氮物质经微生物分解而生成硝酸盐。在屋内由于不受淋溶而累积于地表，靠墙的地方由于毛细作用上升到墙上，水分蒸发后就残留于墙土里。由此可见，地皮土、墙土等越近地表，其养分含量越高，墙土则越靠近地表，其养分越高。见表 7-7

表 7-7 不同部位墙土中速效养分含量 (毫克/公斤)

(湖北农科所)

距地表的高度	速 效 N			速效磷	速效钾
	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	合 计		
7尺	18	37	55	93	289
6尺	7	53	61	69	222
2尺	296	36	332	83	1513
1尺	396	64	460	76	1003

此外，墙土、地皮土、墙土等年代愈久则养分含量愈高。

道士越靠近村庄的养分含量越高，家畜圈舍的墙土比住屋的墙土养分含量高。

表 7-8 住屋与猪舍墙土中养分含量 (吨/公斤)

墙土地点	速效氮			速效磷	速效钾
	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	合计		
住屋	396	64	460	76	1003
猪舍	563	20	583	108	1904

墙土、道士、地皮土等还由于长期的风化，钙、钾的有效性有所增加。

硝土类的肥效是比较显著的，它不仅可以肥田，同时还可改善土壤的物理性状。墙土等一般做为基肥施用，但由于其速效养分含量较高，故在水浇地或多雨季节也可做追肥施用。

除了利用硝土类直接肥田外，有的地区利用硝土熬土硝(硝酸钾)，然后将剩余的褐色溶液——硝卤(即卤水)做为肥料施用，关于卤水的制造、成分及使用将在土化肥一节详述。

## 第二节 泥炭

泥炭俗称草炭、草煤等，是一种很有价值的有机肥料，我国各地蕴藏量极丰富，以东北的吉林、黑龙江貯量最多，质量也最好。我省泥炭的蕴藏也很丰富，据调查，代县、宁武、孟县、浑源、繁峙、沁县、朔县、阳高等二十多个县都有泥炭蕴藏。因此，充分利用泥炭做肥料，挖掘泥炭资源，是目前解决农业生产上肥料来源的重要途径之一。

### 一、泥炭的形成、分类及性质：

泥炭是由古代湖泊沼泽地带的沼泽植物遗体，经地质变迁，埋藏地下，在潮湿、通气不良的嫌气条件下，不能充分分解而形成的比较松软的物质。根据其形成条件、植物组成和理化性

质的不同，可分为低位泥炭，高位泥炭和过渡（中位）泥炭三大类型。

**低位泥炭：**一般在地势低洼的积水窪地和有充分地下水供应的条件下，由苔草、芦苇、小叶樟、木贼、艾蒿等富含氮素和灰分元素的沼泽植物的残体组成的。它的特点是含氮及灰分元素较高，酸度低，呈微酸性到中性反应。低位泥炭一般呈黑色，有机物含量较低，干物质中含N 1.81%， $P_2O_5$  0.30%， $K_2O$  0.27%，吸水、吸氮力低，100斤泥炭能吸水510—800斤，吸氮0.98斤，它分解程度高，故可直接做肥料。

**高位泥炭：**一般在地势较高的分水岭或低位泥炭凸出的上层，由水藓、棉花莎草、沼泽松、越桔等沼泽植物的残体组成的。其特点是含氮及灰分元素较低，酸度高，呈酸性或强酸性反应。高位泥炭由于分解程度差，呈红色或棕黄色。干物质中含N 0.80%， $P_2O_5$  0.05%， $K_2O$  0.03%，有机质含量高，约98%左右，故吸水、吸氮能力很强，每百斤能吸水1000—1800斤，吸氮2.62斤。因此，用做垫圈或堆肥的材料较直接用做肥料为好。

**过渡（中位）泥炭：**是介于上两者之间的类型。一般含N 1.32%， $P_2O_5$  0.25%， $K_2O$  0.33%，其性质与低位泥炭相似，可直接用做肥料。

目前我国已发现的泥炭以低位泥炭为最多，中位及高位泥炭较少，一般含有机质40—70%，N 1.0—2.5%， $P_2O_5$  0.30%，中性到微酸性反应（ $PH$  5.0—6.5），每百斤吸水300—500斤，吸氮1—2斤。

我省泥炭一般分布在山区河谷沼泽窪地，多属低位泥炭，呈黑褐色，微酸性反应，含水量约40—70%，质地疏松，常有未分解的植物残体，各地泥炭成分如表7-9。



表 7-9

山西泥炭的成分

(山西省土肥所)

产 地	全 N (%)	全 磷 (%)	全 钾 (%)	有机质 (%)	灰 分 (%)	pH
浑源南坡头	1.24	0.048	0.33	34.2	61.1	—
浑源东辛庄	2.34	0.048	0.35	43.8	56.0	—
繁 峙	1.36	0.047	0.74	55.2	54.1	6.0
阳 高	1.69	0.45	0.75	34.5	61.7	—
沁 县	2.40	—	0.40	74	26	6.2
宁 武	2.10	0.07	0.07	71	27	5.8
忻 县	0.79	0.83	0.35	61	34	—
沁 源	0.56	0.032	0.19	—	—	—
潞 安	0.50	0.13	0.07	—	—	—
盂 曲	1.22	0.035	0.30	64	35	—

从表 7-9 可看出：我省各地泥炭成分差异较大，一般含有有机质及氮较高，磷、钾含量少。

## 二、泥炭的利用

(一) 直接用做肥料：凡分解程度较高，养分含量较多，酸度较小的泥炭可直接用做肥料。但因泥炭长期处于嫌气状况下，故常含有各种还原性化合物，对作物有害，因此，开采出来后需经风干或堆腐一段时间后施用。直接用做肥料的宜作为基肥早期施用。

(二) 泥炭堆肥：泥炭中含有有机质多，氮素多是有机态氮，在土壤中分解慢，作物难以利用，因此，堆制成堆肥后施用才肥效更好，堆制的方法同堆肥。在堆制时最好掺入一些骡马粪、人粪尿、过磷酸钙或磷矿粉，以促进其腐解过程，同时可以补充其磷的不足，并提高磷肥肥效。

(三) 泥炭垫圈：泥炭的吸水性及吸氮性都很强，是垫圈的好材料，既能保存养分免于损失，又能改善牲畜卫生条件。应

用泥炭做垫圈材料时，最好在泥炭上面再铺一薄层碎秸秆，以保持牲畜的清洁卫生。

(四) 泥炭的加热处理：泥炭进行热处理主要是破坏其有机结构，释放出较多的有效养分。泥炭热处理主要采用烘、炒、熏、烧等方法。经短时间热处理后，其速效养分可提高好多倍。

表 7-10 不同热处理对泥炭养分转化的影响

(东北农科所)

处 理	速效养分(毫克/100克)			全量(%)		有机质 (%)
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
未加热原泥炭	15.51	6.52	2.59	2.15	0.273	62.91
炒至半干	29.70	10.70	2.91	1.95	0.269	62.91
炒 干	46.37	14.02	3.26	2.05	0.212	64.72
炒至开始发焦	95.88	41.58	4.99	2.15	0.189	61.37
熏烧 4 天	56.89	7.17	11.05	—	—	—
熏烧 6 天	168.24	9.71	32.89	—	—	—

泥炭的熏烧原理和方法与熏土同。经 3—7 天加热处理后，速效养分一般可提高 3—6 倍。在熏烧时应注意：① 泥炭本身的湿度，太湿往往不能达到熏烧的目的，太干则易引起泥炭本身的燃烧而降低质量。② 严格掌握通气状况，将全部空隙用泥炭或细土掩盖，但不能压得太实。

(五) 提取胡敏酸肥料：从泥炭中提取胡敏酸肥料，是农业上利用泥炭的新方向，我们将在后面讨论。

### 三、泥炭的肥效：

根据各地施用泥炭的结果证明：泥炭肥料对玉米、大豆、甘薯、马铃薯、花生、水稻、小麦等作物都有良好的效果。但由于对泥炭的处理方法不同，所获得的增产效果也有差异，一般施用腐熟的泥炭堆肥或泥炭圈肥，可增产 20% 以上，效果与质量较好的家畜圈粪差不多。而在甲腐熟度差的泥炭，则肥效

也低，通常冲产 10—20%。

腐熟度较好的低位泥炭经风干后可以直接施用，高位泥炭必需经过堆腐后方可施用。

泥炭肥料一般做为基肥施用，腐熟度高的也可掺些过磷酸钙及少量氮素化肥做为种肥施用。对于酸度大的泥炭应当加入适量的石灰或草木灰等硷性物质进行中和堆腐后施用。

泥炭是一种冷性肥料，故最适于硷性地上施用。

### 第三节 肥水资源的开发利用

毛主席教导我们：“人民群众有无限的创造力，他们可以组织起来，向一切可以发挥自己力量的地方和部门进军，向生产的深度和广度进军，替自己创造日益增多的福利事业。”广大贫下中农在长期的生产斗争中发现和利用肥水资源，为广开肥源开辟出新途径，为农业的进一步发展做出新贡献，目前已在生产上收到良好的效果。

#### 一、肥水的性质：

肥水是一种含有硝酸态氮和其他可溶性盐的地下水。透明无色，无臭，味燥或苦，咸、涩，群众又称为“油水”、“苦水”、“燥水”、“咸水”。

一般天然水都含有或多或少的硝态氮。根据生产实践，凡水中含硝态氮在百万分之十五（即 15 PPM）以上的地下水，用于灌溉农田就能表现出肥效。因此，我们将含硝态氮百万分之十五作为区别肥水和一般灌溉水的界限，肥水含磷、钾少，肥水酸硷度一般为  $PH 7-8$ 。

在一般情况下肥水硝态氮含量高，其矿化度也高。

其矿化度也高，但不同地区的

肥水虽然硝态氮含量相近，矿化度的差别却很大。见表 7-11。

表 7-11 不同地区肥水硝态氮含量与矿化度的关系

地 点	硝态氮 (PPM)	矿化度 (克/升)	硝酸根与总盐量的%
山西芮城 风陵渡	25	0.64	17.3
	50	0.80	25.3
	300	2.50	53.0
山西新绛 城关	50	1.45	14.0
	150	3.90	17.0
山西屯留 常村镇	15	0.74	9.0
	60	1.30	20.4
	140	1.65	37.6
山西长治 东店	35	0.95	16.3
	40	1.06	16.7
	200	2.50	35.4
山东临清 城关	150	3.2	20.7
	160	3.3	21.5
河南许昌	80	1.56	21.7
	160	1.89	37.6
	400	6.40	27.7
河北邢台	25	1.30	8.6
	30	1.30	10.2

\* 硝态氮值乘以 4.427 即为硝酸根 ( $\text{NO}_3^-$ ) 值。

硝态氮是肥水总盐分的组成部分，因此，评价肥水水质，不仅要着其硝态氮含量的多少，而且还必须考虑到肥水中硝态氮与总盐分的比例。在不同的自然条件下，这种比例关系差异很大。（见表 7-11）。

用矿化度高的地下水长期浇施农田，在土壤里土壤的盐渍化，给土壤带来不良后果。用矿化度低的，且硝态氮与总盐量

的比例大的肥水浇灌农田就会收到良好效果。对于矿化度高的肥水，虽然硝态氮含量也高，但必须用淡水进行稀释到允许的矿化度范围内才能灌溉。我省除部分地区外，肥水一般水质较好，尤其晋南、晋东南的肥水，不但矿化度低，而且硝态氮占总盐分的比例又比较大，有开发利用前途。

## 二、肥水的形成、分布和变化规律：

### (一)、硝酸盐的来源、转移与肥水的形成：

肥水的形成过程，实际上是硝酸盐的产生、迁移，并在一定条件下累积或转化，直至以一定浓度存在于天然水中的整个过程。从目前调查情况看，肥水的形成主要是地表各种含氮的有机物和无机物经微生物分解活动而生成的硝酸盐，被雨水淋洗下渗到较深的土层中或地下水中累积形成的。故凡提供含氮有机物越多的地方，硝酸盐的产生量也就越大。居民点就是长期不断地大量提供含氮有机物的场所，如人畜粪便，污物，各种动植物的遗体等等都含有含氮有机物，都是产生硝酸盐的原料，这就是肥水多分布在居民点及其附近的原因。

“唯物辩证法认为外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用”。地下水中硝酸盐能否累积，首先取决于硝酸盐的来源，硝酸盐的来量与去量的平衡关系，这是肥水形成的内因。但在有硝酸盐大量来源的前提下，肥水能否形成，还要有合适的自然条件即水文地貌及水文地质条件，这是肥水形成的外因。仅有了硝酸盐的来源，而没适宜的条件，富含硝酸盐的土层和潜水都不能形成；反之，虽然有适宜的自然条件，而没有硝酸盐的大量来源，即缺乏肥水形成的根据，也不可能形成肥水，这是指导我们开发利用肥水资源的依据。

### (二)、肥水的分布：

肥水的存在和分布，与地形地貌和水文地质状况有着密切关系。普

查结果表明，地势较高的山地，坡地或垣地，肥水分布很少；而地势平缓，黄土层深厚，地下泾流不畅的地区，肥水分布较多；在倾斜度较大的斜坡地形上或地下水位很浅，土层较薄，砂石层浅和来水很旺的地区则没有或者很少。

在同一自然地理区内，肥水分布的多少和含肥的浓淡，并不是均一的。一般说和城镇村庄居民点的存在（包括古老居民点遗址）有着密切关系。居民点及其附近肥水分布较多，浓度也较大；离居民点愈远，肥水分布愈少，浓度也愈低。较新较小的居民点肥水分布很少。肥水多分布在居民点地势较低的一面，即在地下泾流所向的一面，肥水分布较多，浓度较高。

### （三）、肥水存积变化的环境条件：

潜水是否含肥和含肥量的多少与含水层的岩性结构有关。一般含硝酸盐多的潜水，其含水层多属于土质，而砂砾质含水层不利于硝酸盐的留存，据已发现的肥水井来看，潜水含肥量的多少与静水位的深浅没有绝对的关系，有些地区群众反映同一口水井，当水位上升时，水味由甜变苦涩。这说明硝酸盐及其他盐分含量增高；但水位继续上升时，水味又变甜。说明硝酸盐及其它盐分含量又降低。这种变化情况可能是地层的某一部位存在着一个富含硝酸盐及其它盐类的层次。当水位在这一层次之下时，水味是甜的；当水位上升浸没这一层次时，由于硝酸盐及其它盐类的溶解，水味变苦涩，如果继续补给大量的淡水，而使水位升高到这一层次之上时，水味又变淡。这种动态变化规律与开发利用肥水有很大的关系。如果井深或提水深度超过或不及这一层次时，均不能获得最高含肥量的潜水，只有提水水面浸没这一层次时，才能得到高的含肥量的潜水。

### 三、肥水的利用和肥效：

据各地生产实践证明：肥水浇地效果显著，据陕西省关中地区大面积肥水灌溉试验结果表明，肥水中硝态氮含量超过15 PPM者均可看出增产效果。现各地用于生产上的肥水，含 $\text{NO}_3\text{-N}$ 多在30~100 PPM之间，若每亩每次灌水量以40方计，就相当于施硫酸12~40斤。据试验，利用肥水灌溉小麦、玉米、谷子等粮食作物可增产100~200斤，皮棉30~40斤，对油菜、烟草、蔬菜也都有明显的增产效果。我省各地贫下中农在生产斗争中，对肥水的利用也积累了丰富的经验。长治茶店，原平崞阳镇、东营，汾阳县籽城坊等地使用肥水浇大麻、蔬菜、玉米，增产很显著。用肥水灌溉的菠菜，芹菜茎叶肥大而鲜嫩。县谷村大队的试验田，每亩施底肥八十担，灌溉肥水六次的，亩产小麦500斤以上，而灌溉河水的，亩产不及300斤。据分析，用肥水灌溉的小麦、玉米等粮食作物籽粒中蛋白质含量也比淡水灌溉的有显著提高。群众反映肥水浇麦面筋多，味道好。

肥水浇地对作物产量和品质的影响与肥水的水质有很大关系。根据各地生产实践结果看，肥水对叶菜类都表现出显著的增产效果，对谷类作物、棉花等也有增产效果，但硝态氮含量高及矿化度高的肥水不宜作为苗期灌溉，否则易引起烧苗现象。同时含硝态氮高的肥水如果多次浇灌小麦往往会造成闷伏及贪青现象，含氯离子高的肥水用于浇灌红薯，烟草等作物，则对这些作物的品质有不良的影响。这些都说明了对具体事物要进行具体分析，分别对待，要因地制宜，合理利用，只要我们掌握了肥水的实质，就能充分发挥其增产效果。根据陕西省兴平等县多年来的实践证明，肥水对几种主要作物的增产效果如表7—12：

表7-12 肥水灌溉的增产效果

(陕西省兴平等县资料)

作物	肥水灌溉单产 (斤/亩)	肥水比淡水相对 增产量(%)	肥水比淡水绝对增 产量(斤/亩)
小麦	400~600	20~100	100~300
玉米	400~600	20~100	100~300
皮棉	70~140	30~100	20~60
谷子	400~600	40~100	100~300

四、充分发挥肥水肥效的几个问题：肥水灌溉如同施用氮素化肥一样，用之得当，则收到良好效果。如果用之不当，氮素过多，常常出现小麦，玉米食青晚熟，幼苗，倒伏，棉花徒长，烂铃，烟草品质降低等现象。所以要灵活掌握，合理利用。

(一)、肥水的经济利用：肥水中富含养分，故与一般灌溉水有所不同，应该把它当做一种氮素肥源来利用，用以施肥，而不应只当做一般灌溉水源来利用，尤其是对含氮量高的，矿化度高的肥水更应注意。对含养分高的肥水应当掺灌淡水进行稀释，经济有效地利用扩大受益面积。或实行肥水淡水轮换灌溉，当作物需要追肥时浇以肥水，不需追肥时浇以淡水。根据各地经验认为：在当前生产条件下，肥水应控制  $\text{NO}_3\text{-N}$  含量在  $60\sim80$  PPM 范围内，(即每浇 50 方水相当于施硫酸 25~40 斤)，矿化度在 1.5 克/升以下为宜。

(2)、配合磷、钾肥的施用：肥水中含氮素多，磷、钾少，如果多次浇灌，不配合以磷钾肥，则产生养分供应失调现象，造成不良后果。



实践证明，如果配合施用磷钾肥，则能收到更好的增产效果。表7-13

表7-13 肥水灌溉配合施用磷肥的增产效果

地 点	年 份	作 物	产量(斤/亩)				备 注		
			肥		水			肥水加磷肥	
			斤/亩	%	斤/亩	%		斤/亩	%
陕西兴平 赵村	1966	玉米	459.7	100	531.9	115.7	灌一年		
	1966	玉米	365.2	100	543.8	148.9	连灌三年		
	1967	小麦	371.3	100	501.2	134.8	连灌二年		
	1967	小麦	413.4	100	514.6	129.4	连灌四年		
陕西兴平 西吴	1967	玉米	532.0	100	665.0	125.0	灌一年		
	1968	小麦	411.2	100	591.4	143.8	连灌二年		
陕西高陵 红旗	1967	玉米	436.5	100	540.0	123	灌一年		
陕西咸 渭滨	1967	小麦	323.7	100	408.8	126.1			

(三)、配合有机肥料的施用。

(四)、选种耐水肥的作物品种。

(五)、肥水中含盐分较多，因此对于矿化度高的肥水，在利用其灌溉农田时，应注意防止土壤的次生盐渍化。

(六)、配合其它农业技术措施。如小麦利用肥水灌溉时，可以配合喷矮壮素或镇压等农业技术措施，防止倒伏，以发挥其增产效果。

1967年陕西兴平县赵村大队进行对比试验，利用肥水灌溉不喷矮壮素的，在开花后严重倒伏，亩产仅310斤，而在拔节期加喷矮壮素的，没有倒伏，亩产达到382斤，增产一倍以上。

### 五、肥水资源的开发：

肥水是广大贫下中农在长期的生产斗争中发现的一种含硝酸盐的地下水资源。现已查出陕西、山西、山东、河南、河北等省都有肥水分布，陕西、山西两省及山东烟台地区共已查出肥水井32700多眼，其中含氮量在100PPM以上的有4200眼，50~100PPM的有9700眼，10~50PPM的18800眼，陕西大荔县沙苑，兴平县城关，高陵县战斗公社等，肥水中 $\text{NO}_3-\text{N}$ 含量高达300PPM以上，山东章丘县平陵公社龙山大队肥水含 $\text{NO}_3-\text{N}$ 为560PPM，陕西关中各县，山西芮城，新绛、曲沃、长治，河南的许昌等地都有含 $\text{NO}_3-\text{N}$ 在200PPM以上的肥水储藏。

我省肥水的分布与含量，目前各地正在普查当中。但根据我省水利研究所，水利服务站分别配合中国科学院西北水土保持生物土壤研究所和水电部对我省23个县（市），75个公社的初步调查，70%以上的井水含有氮，其中芮城的风陵渡、曲沃城关，原平阳镇，代县阳明堡等地，有些井水含 $\text{NO}_3-\text{N}$ 达300PPM以上；太原、大同、阳高、忻县、定襄、祁县，长治等地的地下水，含量都在100PPM以上。这些都说明了我省肥水的分布不仅很广，而且含氮量也很丰富，同时水质也较好，很有开发的前途。

各地在开发利用肥水资源的的同时，有些地方还发现有肥水沟、肥水泉、肥水河等资源，我省太原郊区的晋祠泉，朔县的禅头泉、天镇县城内蓄水池、代县西关水库都含有氮。

肥水开发利用简便，投资少，收效快，广泛开发利用肥水已成为许多地区争取农业增产的重要措施之一。当前各地在开发利用肥水的工作中，采取领导、贫下中农、科技人员“三结合”。边普查、边规划、边试验、边推广。我省也成立了“肥水利用办公室”，相信今后将有更多的肥水资源被开发出来，将为农业生产提供更多的肥源。正如贫下中农所说：“肥水是砸不烂、摧不垮的化肥厂”。

#### 第四节 土化肥

在1958年大跃进运动中，我国广大工人、贫下中农和革命科技人员，在毛主席制定的“鼓足干劲，力争上游，多、快、好、省地建设社会主义”总路线的指引下，发扬自力更生、奋发图强的革命精神，就地取材，修旧利废，土法上马，制造出多种多样的土制化肥，为我国化肥工业的发展增添新生力量，给农业提供了大量肥源，为社会主义建设做出巨大贡献。

但是叛徒、内奸、工贼刘少奇对轰轰烈烈的群众运动，怕得要死，恨之入骨。污蔑大跃进“搞糟了”，“得不偿失”。他们贪大求洋，鼓吹“洋奴哲学”，推行“爬行主义”，诬骂土化肥“不正规”，“瞎糊闹”，“劳民伤财”等，极力扼煞这一新生事物成长。

史无前例的无产阶级文化大革命，粉碎了刘少奇及其一伙复辟资本主义的阴谋。通过开展革命大批判，广大群众的路线斗争觉悟大大提高使毛主席的无产阶级革命路线得到贯彻落实。土化肥这一新生事物又获得茁壮成长。我省晋城县五小工业的蓬勃发展就是一个突出的典范。晋城一为农业服务的五小工业的发展促进了农业生产的进一步高涨。

土法制造化肥是土洋结合，两条走路方针和大搞群众运动在化肥工业上的具体体现。今后它将不断成长、壮大，促进我国化肥工业的发展，增加化肥产量，对发展农业生产，提高单位面积产量，起到积极的作用。

### 一、发展土化肥的意义：

(一)、原料来源广泛，可就地取材，变废为宝。土法制化肥能利用国家大型化肥厂难以利用的，比较分散而少量的原料。例如利用含磷量低的磷灰石或磷灰土制造钙镁磷肥；同时还可以就地利用工矿企业的多种废弃物，如利用硫磺脚渣制硫酸铵，从煤夹石中提取硫铵等。

(二)、设备简单，投资少，成本低，规模小，收效大。生产土化肥不需要大型成套的设备，几件简单的器具就行了。例如硫磺脚渣制取硫酸铵，整套设备只需要瓷缸（或木桶）、锅子、石臼、木桶、簸箕、白布、皮管等一些简单器具。

(三)、制法简便，容易掌握。可以充分发动群众，社社队队进行生产。

(四)、就地生产，就地使用，节省运输费用和劳力。

(五)、土制化肥是发展地方工业的一方面军，可以促进地方工业的发展，加速国家工业化，并促进农业的进一步发展。

### 二、介绍几种土制化肥的方法：

#### (一)、硫磺脚渣提取硫酸铵；

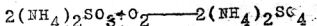
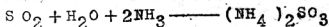
##### 1、原理：

硫铁矿石经高炉烧制时，生成大量硫磺和硫化亚铁：





二氧化硫和燃料中产生的氮先合成亚硫酸铵，再经过氧化便生成硫酸铵：



硫酸铵溶于水，可用水提取，经液缩制成结晶品，即为硫酸铵。

## 2、生产流程：

(1)、原料粉碎：硫磺脚渣中的硫酸铵常夹杂在其它含硫物质中不易浸提，因此，必须将原料捣碎至粒径2~3毫米的粒子。

(2)、浸提：将捣碎的硫磺脚渣置入盛水的瓷缸（或木桶）里进行浸提。一般多采用多次连续浸提法。

(3)、中和，去杂：浸提液含多量硫酸，呈强酸性，对铁锅有腐蚀作用，故需中和到微酸性（PH4~5）。可用石灰或氨水中和，如果有磷矿粉的地方可用磷矿粉中和，这样可以得到氮磷复合肥料。中和后将浸提液澄清，过沪，沪液放入铁锅内加盐煮沸20~30分钟，然后过沪去杂。

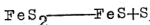
(4)、液缩结晶：将上述沪液移入液缩锅内加热浓缩，随着水分的蒸发，硫酸铵便结晶析出，经晾干捣碎即为成品。

## (二)、煤夹石提取硫酸铵：

我省煤矿丰富，煤夹石数量大，因此，从煤夹石中提取硫酸铵，在我省很有发展前途。

### 1、煤夹石中硫酸铵的由来：

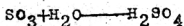
煤夹石是采煤时的付产物。在煤夹石中约有2~3%的硫化铁矿。经过堆积燃烧后，其中的硫化铁矿便生成硫磺和硫化亚铁：



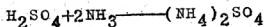
硫磺燃烧生成二氧化硫和三氧化硫：



三氧化硫与水化合生成硫酸：



煤屑中及煤夹石中所含的有机态氮，经燃烧后生成氨，氨与硫酸作用生成硫酸铵：



这就是煤夹石中硫酸铵的由来。

## 2、生产流程：

从煤夹石中提取硫酸铵的生成过程，基本上同硫磺提管提取硫酸铵

(1)、堆积燃烧：将煤夹石堆积成堆，底部迎风处留一火口，引火燃烧。点燃后，煤夹石本身继续自燃，待燃烧完毕后进行粉碎。

(2)、选料及粉碎：煤夹石在燃烧过程中，由于燃烧程度不同，可分为黑、白、红三种原料。黑料为刚刚开始自燃，有机物尚未完全分解，温度较低，表层含硫酸铵结晶多，含氮量较高。白料和红料则为经充分燃烧，温度高，有机物完全分解，含氮量低，而铁、铝含量高。因此应该选黑料。有的经验认为，小雨后煤夹石中含硫酸铵增多，因为水分促进硫酸铵的生成。

至  
选好原料后捣碎粒径2~3毫米大小。

(3)、浸提：将粉碎后的原料，按每100斤原料加水50斤进行浸泡，采用多次连续浸提法。

(4)、过筛和中和：将浸提液过筛，并用氨水或石灰乳中和至微酸性。

(5)、浓缩与结晶：将滤液放入锅内浓缩至波美40度左右，倾入池内冷却，即有硫酸铵结晶析出。

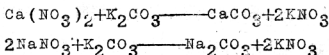
## (三)、土制过磷酸钙：

土法制过磷酸钙多用骨粉或磷矿粉以及工业废硫酸为原料，设备上有用砖池（或洋灰池）的，也有用瓷缸的，搅拌器一般用木制品。

生产流程：在用砖池时，先将骨粉或磷矿粉放在池内，然后加硫酸；用瓷缸时，先将硫酸放在缸内，慢慢加入骨粉或磷矿粉，一吨原料大致需要一吨60~70%的硫酸溶液。原料加完后，加盖迅速搅拌5分钟左右，开盖放置1~2小时，内容物固结后倒出，堆置1~2星期，捣碎即为成品。

## (五)、硝土制火硝：

火硝即硝酸钾。属氮、钾复合肥料。我国最先发明由硝土提制火硝。硝土中含有各种硝酸盐，如硝酸钾、硝酸钙、硝酸钠、硝酸镁等，这些盐均为水溶性的，可用水淋洗提取。经过熬煮、结晶即得硝酸盐。为了使硝酸盐更多地变成硝酸钾（火硝），在提取时，可以加入草木灰以提高钾的含量，硝土与草木灰的比例一般为3：1，



## 生产流程：

(1)、浸提：浸提是在淋硝池或瓷缸里进行。在容器的底部留一个出水口，在容器内支一层木栅，木栅上铺筛子，筛上堆放硝土和草木灰的混合物（土：灰=3：1），稍压紧，然后用水淋洗。最初淋下来的水叫做初淋水，以后淋下来的水叫做二淋水，三淋水，一般淋三次。初淋水浓度高，呈棕红色；二淋水、三淋水比较稀，可用以再淋洗。

(2)、熬煮：一般用初淋水进行熬煮。当淋下来的水浓度达到比重计1.115以上或波美15度以上时，即可进行熬煮。（若没有比重计也可以鸡蛋代替，当新鲜鸡蛋放入有一半浮起时即达到此浓度）；

在蒸煮过程中，由于各种盐的溶解度不同，可以将其分离开（见表 7-14）随着淋洗液在蒸煮过程中浓度的提高，随时搅动，以防锅底结垢，蒸煮至取一滴硝水放在灶台上能很快凝结而不流下时，即可停止蒸煮。稍冷却后将硝水倒出以除去锅底的盐。

(3)、冷却、过筛：将清液放置于缸内待其慢慢冷却，硝酸钾就逐渐析出。通过过筛将其分离出来，即得火硝的粗制品（俗称毛硝）筛液即为硝卤水，可以重新提硝。

毛硝结晶中还含有食盐、氯化钾等盐类及一些杂质，颜色发黄，吸湿性大。如果做为肥料用，可以不提纯。若要获得火硝的纯制品，则须再提纯。精制的方法是将毛硝放在锅里，注入清水使其溶解，再加熬煮沸，并按每百斤毛硝加入皮胶一两的比例，不断搅动，这时杂屑就和胶液形成泡沫，随时捞除。直至不见黑色为止。取出硝水重行结晶，即得到纯白的火硝。各地用此法获得的火硝成品中，一般含氮 10.3~14.2%， $K_2O$  27.0~45.3%。

表 7-14 在不同温度下几种盐的溶解度（克/100克水）

溶解度 盐类	温度 C°	10°	20°	60°	90°	100°
NaCl	35.7	35.8	36.0	37.3	39.0	39.8
$Na_2SO_4 \cdot 7H_2O$	19.5	30.0	44.0			
$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	52.8	53.5	54.5	61.0		73.0
$K_2SO_4$	7.35	9.22	11.1	18.2	22.8	24.1
KCl	27.6	31.0	34.0	45.5	54.0	56.7
$KNO_3$	13.3	20.9	31.6	110.0	202.0	246.0
$K_2CO_3 \cdot 2H_2O$	51.3	52.0	52.5	55.9	59.6	60.9



## (五)、卤水:

卤水有盐卤水和硝卤水两种, 盐卤水为制食盐的付产物, 俗称苦卤。其中含有  $\text{NaCl}$  12.9~14.7%,  $\text{MgCl}_2$  12.1~12.9%,  $\text{MgSO}_4$  7.4~7.9%,  $\text{KCl}$  2.0~2.1%, 可以直接做为肥料。但由于苦卤中含  $\text{NaCl}$  等较多,  $\text{KCl}$  含量少, 故肥效差。为提高肥效, 1953年大跃进中, 广大群众创造出从苦卤中提取钾镁肥的方法, 获得了含钾较高的肥料。制取的方法有二: 一为自然曝晒蒸发取得; 另一为熬煮取得。

熬煮的方法是将苦卤放在锅里煮沸, 温度达  $117\sim 120^{\circ}\text{C}$ , 这时食盐大量结晶析出。用布过滤除去食盐, 再将滤液继续熬煮, 当温度上升至  $126^{\circ}\text{C}$  时, 冷却让其结晶, 脱去卤汁干燥后, 即为钾镁肥。其成分大致如下:  $\text{KCl}$  13.5%,  $\text{MgSO}_4$  24.4%,  $\text{NaCl}$  15.5%,  $\text{MgCl}_2$  40.6%。

硝卤水俗称“坑坊”。是熬制火硝的付产物。盐碱土地区的农民经常有施用坑坊的习惯, 我省晋中地区农村施用很普遍。硝卤水中含  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  等盐分。我省一些地区的硝卤水中养分含量如下表 7-15

表 7-15 硝卤水中养分含量 (%)

产地	比重	$\text{NO}_3 - \text{N}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{NaCl}$
大谷	1.39	4.61	3.54	14.39
晋祠	1.31	2.27	1.99	20.28
清徐	1.34	4.99	4.11	11.58
文水	1.39	5.10	3.13	16.40
汾阳	1.30	4.19	1.23	13.67
交城	1.36	4.30	3.18	13.07

硝卤水可以做为肥料使用，（施用方法见复合肥料一章），也有地区将硝卤水进行蒸煮，而得到KCl结晶，再经过精制就得到很好的肥料，如我省有的地区制得的KCl产品中含 $K_2O$ 达61.4%。

#### （六）、胡敏酸盐肥料与氧化煤：

##### 1、胡敏酸的成分与性质：

胡敏酸是腐殖质的组成物质，它广泛存在于有机质较多的土壤、草炭、褐煤以及其它有机肥料中，含量各地不等。

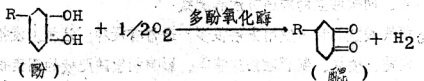
胡敏酸能溶于碱溶液中，其碱金属盐具有很强的亲水性，它会被无机酸所沉淀，形成黑色无定形胶状物质，胡敏酸不溶于酒精中，干燥时易氧化。

胡敏酸中含氮1.82~3.90%，C 54~58%，H 5~8%，O 31~39%，灰分0.13~0.48%。

通常是用NaOH来提取胡敏酸生成胡敏酸的钠盐或铵盐，然后使用。

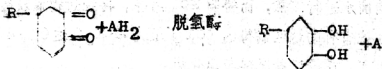
##### 2、胡敏酸的生理作用：

胡敏酸盐肥料是一种刺激性肥料。其刺激作用表现在加强作物根系发育，使作物根系发达，增加初生根与次生根的数目及长度。发达的根系是作物获得丰产的基础。胡敏酸结构内含有多酚体，据研究，多酚氧化酶体系在植物呼吸过程中起有机化合物氧化的中间环节，在多酚氧化酶的参与下，多酚为空气中的氧所氧化生成醌：



醌又在脱氢酶的参与下，从有机物（氧化基质）中获得氢又还原为

酚，使有机物氧化：



其氧化过程如下述图式：



因此，施用胡敏酸后：(一)、植物吸氧能力增加；(二)、植物体内氧化酶的活动加强；(三)、加强酶的合成作用，增强了原生质对养分的吸收能力，特别是对磷酸的吸收，同时加强了体内吸呼作用，所以又称胡敏酸为吸呼肥料。

### 3、胡敏酸的提取：

取煤细的草炭或褐煤粉 100 斤，加 0.4% NaOH 溶液 250~750 斤，加热煮沸。将煮沸后的溶液澄清过滤，倒入瓷缸内静置 8~12 小时，取出上面澄清液用 0.55%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液中和、沉淀，其比例约为 2:1。加热煮沸，使全部沉淀；再用虹吸管吸出上面清液，用软水洗沉淀 2~3 次，过滤，再用软水洗涤至无硫酸根为止，即为胡敏酸。

### 4、胡敏酸盐的施用方法和肥效：

胡敏酸盐肥料的使用方法很多，通常有浸种、沾根、浸插条、灌溉、穴施、喷施、制颗粒条施等等。影响胡敏酸肥效的因素很多，现分述如下：

(1)、土壤：胡敏酸施在肥沃或瘠薄的土壤上效果不同。一般

说，施在肥力较高的，反应中性而稍带粘性的土壤，效果较好。同时土壤缺乏氧的供应，而空气干燥，气温在 $18^{\circ}\text{C}$ 以上时容易表现出效果，如果气温高达 $38^{\circ}\text{C}$ 时，须停止使用或减少施用次数及用量，以免由于植物呼吸作用过分强烈，减少了干物质的累积，影响产量。在盐碱地上施用胡敏酸肥料时用量可减少些；而在酸性土壤上施用则用量适当加大。

(2)、浓度：胡敏酸肥料使用的浓度对其肥效影响很大，在 $0.01\sim 0.001\%$ 浓度范围内，能刺激植物有机体的生命活动，浓度高于 $0.1\%$ 时，就会抑制植物有机体的生命活动；低于 $0.001\%$ 时，其刺激作用不大，效果不显著。胡敏酸肥料溶液的PH值应调节到 $7.0\sim 7.5$ 为宜。

(3)、作物：不同作物对胡敏酸肥料的反应不一，据现有试验资料指出；反应良好的作物有蔬菜、果树、马铃薯、甜菜等作物；禾谷类作物也有较好的效果，豆科作物不敏感，而对油料作物一般表现无效。

就同一作物来说，也只有在其体内代谢作用及酶的活性最强烈的时期施用效果才明显。例如在种子萌发时（小麦、水稻、玉米等浸种）可促进幼苗发根，水稻沾秧根可促进发根及加速缓苗，在禾谷类作物开花及灌浆时施用可以壮籽粒。

(4)、胡敏酸肥料是一种刺激性肥料，不能代替其它肥料，故须与有机、无机肥料配合施用。

具体施用方法有以下几种：

(1)、浸种：据试验，各种作物适宜的浸种浓度如下：

冬小麦、玉米…… $0.005\%$ ； 棉花…… $0.001\sim 0.01\%$ ；  
水稻…… $0.02\sim 0.04\%$ ； 黄瓜…… $0.005\sim 0.05\%$ ；

莴苣.....0.0005~0.005%; 蕃茄.....0.005%;

白菜.....0.005%; 花生.....0.005%;

浸种时间的长短也随作物种类不同而异，蔬菜、小麦、花生等易膨胀的种籽浸5~10小时即可；棉花、水稻等硬壳种籽需浸15~18小时。

(2)、浸根：水稻沾秧根可用0.005~0.01%，葡萄插条可用0.007%处理。一般说，幼苗使用的适宜浓度与浸种的最适浓度相近似。

(3)、追肥：叶面喷施的以0.005~0.01%比较合适。根部追施时，由于土壤具有吸收性及缓冲性，所以浓度可稍大些，一般为0.01~0.05%之间，每亩用量在1000斤左右。

胡敏酸肥料只要施用得当，都表现出较明显的效果，根据北京农业大学试验，小麦平均增产3.1~17.4%，玉米平均增产9.2~10.9%。

表7-17 胡敏酸钠对玉米的增产效果 (1959年)

处理 产量	喷水 (对照)	穴施 (0.05%)	喷施 (0.05%)	穴施+喷施 (0.05%)
籽实产量(斤/亩)	557.2	617.8	544.8	608.2
增产(%)	100.0	110.9	97.7	109.2

## 农业化学

表7-16 胡敏酸钠对小麦的增产效果 (1959年)

胡敏酸钠浓度	籽粒产量		茎秆重量 (斤/亩)
	斤/亩	增产 (%)	
对 照	324.0	100.0	864.0
0.01%	331.0	117.4	1084.0
0.005%	359.2	110.6	948.0
0.001%	344.4	106.1	

表7-18 胡敏酸的浓度、施用期对黄瓜产量影响 (1960年)

胡敏 酸钠浓度	收瓜时期	前期 (29/7~5/8)		后期 (29/7~3/9)	
		瓜条产量 (斤/亩)	增产 (%)	瓜条产量 (斤/亩)	增产 (%)
对 照		957.7	100.0	4342.7	100.0
0.01%		1122.9	114.6	4697.6	108.0
0.03%		1043.4	113.2	4478.5	103.5
0.05%		1288.6	128.6	4561.2	105.1

对其他大田作物也有良好肥效，如水稻平均增产10%，红薯15~20%。

### 5、氧化煤的制造与施用：

提取胡敏酸比较复杂些，同时在提取过程中原料中的其它有益物质被废弃掉，不能充分利用，为了简化操作步骤，充分利用原料中的

有益物质，广大革命群众在实践中创造出了“氧化煤”。

### (1)、氧化煤的制造：

氧化煤就是利用褐煤，风化烟煤或草炭做为原料，通过稀硝酸在升温的情况下将煤等氧化，以提高胡敏酸的含量。在氧化过程中伴随有硝代反应，所以产品常是其硝代产物，然后再用氨水或碳酸氢铵进行氨化这样生成的物质为硝基腐殖酸铵，俗称“氧化煤”。

#### 生产流程：

原料的粉碎：将褐煤或风化烟煤，或草炭进行粉碎，通过80网目的筛孔，备用。

酸化：将煤粉末放入缸（池）内，以3：1的比例加水搅拌成浆糊状，然后按每百斤煤粉末加度硝酸7斤左右，搅拌均匀，最后要求PH 4 ~ 5左右。

加温氧化：利用蒸汽加温，温度维持在90℃左右，时间30~40分钟。

冲洗、沉淀：氧化后加清水搅拌冲洗，沉淀后将水放出，连续冲洗3~4次，直至PH7即可。

氨化：将冲洗后的沉淀物倒入另一缸（池）内，每百斤加2~3斤碳酸氢铵（或氨水）搅拌均匀，当PH 8~9之后，使之冷却刮出阴干粉碎即得成品。

有的生产单位不用硝酸而用工业废硫酸进行酸化，有的加过磷酸钙，利用其中的游离酸进行酸化，同时增加产品中磷的含量。有的生产单位不进行酸化这一步骤，直接用氨水或碳酸氢铵进行氨化，不管用什么方法，其最后产物的主要成分均为腐殖酸铵。

### (2)、氧化煤的肥效及施用：

腐殖酸铵肥料不仅是一种良好的肥料，同时还是一种土壤改良剂

能促进团粒结构的形成，同时还能活化土壤中的磷，提高磷的有效性，并且有改良盐碱地的作用。

根据国内外试验研究指出，腐殖酸铵的肥效是比较明显，对水稻、玉米、小麦、大豆和蔬菜等多种作物都有良好效果。中国科学院南京土壤研究所，于1960年分别在江宁农场和河南新乡农场对小麦进行田间试验，结果如下：

表7-19 腐殖酸铵对小麦的增产效果

试验地点	处	通	产量 (斤/亩)	增产 (%)
江宁农场	对	照	124.6	/
	施硝基腐殖酸铵 132斤/亩		226.9	82.1
新乡农场	对	照	105.4	/
	施硝基腐殖酸铵 60斤/亩		129.3	22.7

无产阶级文化大革命以来，我省许多地区也进行试验研究，在不同土壤上和不同作物上都获得了明显的效果，结果如下：



表7-20 腐殖酸铵的肥效试验

试验地点	供试作物	土壤性质 及施用方法	亩施腐铵 (斤)	亩产 (斤)	增产 (%)
定襄 官庄大队	春小麦	盐碱地沟 施作底肥	对照	286	
			40	317	15.4
祁县 丰泽大队	冬小麦	盐碱地散 施作底肥	对照	299.9	
			50	385	28.4
			100	437.1	45.8
定襄 神山第三队	谷子	沙土地 作追肥	对照	445	7.9
			45	480	7.9
			80	520	16.9
定襄 官庄大队	高粱	盐碱地 沟施作底肥	对照	201	
			40	239	18.9
			80	309.7	54.2
定襄 河边良种场	玉米	瘠薄地沟 施作底肥	对照	211.2	
			40	260.4	23.3
			60	262.8	24.4
曲沃 张庄大队	水稻	盐碱地 作底肥	对照	500	
			40	625	25.0

腐殖酸铵还具有改良土壤物理性状，促进团粒结构形成的作用。据吉林农业大学盆栽试验指出，施用腐殖酸铵后团粒结构有所增加。

表7-21 硝基腐殖酸铵对团粒结构的影响

处理	团粒 mm					合计 >0.25
	>5	5~2	2~1	1~0.5	0.05~0.25	
对 照	0.79	4.11	6.81	10.56	11.69	33.93
硝基腐殖酸铵	1.42	5.66	6.99	12.52	12.14	38.73

各地试验还指出,施用腐殖酸铵后,可以活化土壤中的磷,提高磷的有效性,北京农业大学1965年进行的试验结果如下:

表7-22 腐殖酸铵对磷有效性的影响

测定日期	处 理	有机质 (%)	全 氮 (%)	速效磷 (PPM)
试验前 基础土壤	对 照	0.75	0.040	0.7
	硝基腐殖酸铵	0.75	0.040	0.7
7月2日	对 照	1.27	0.053	5.3
	硝基腐殖酸铵	1.31	0.057	14.8
8月23日	对 照	1.09	0.040	3.9
	硝基腐殖酸铵	1.45	0.047	6.3

综合各地试验结果看出,腐殖酸铵只要施用得当,其增产效果是比较明显的,对各种土都适用,尤其对盐碱土效果更好,从作物来说,水稻反应最好,其次是小麦,再次为棉花、谷子、高粱、玉米等,在施用方法上,以作底肥为佳,与过磷酸钙混合施用效果更好。

应当指出:腐殖酸铵肥料还是一种新型肥料,对于它的性质,施

用方法等仍在进一步的研究中，还有很多问题需要我们去解决，只要掌握它的本质之后，才能充分发挥其增产效果。

## 第五节 城市垃圾、污水及工农业废弃物的利用

解放以来，我国的社会主义建设事业迅速发展。在毛主席无产阶级革命路线指引下，发挥了中央和地方的两个积极性，中央工业和地方工业发展迅速，城市建设也逐年扩展，随着城市建设和工业的发展，大、中、小城市的垃圾、污水以及工农业的废弃物的数量也日益增多，这些废物一般都含有不同数量的作物所需的营养物质，因此，有效的加以利用，变废为宝，是广开肥源的重要途径之一。

### 一、城市垃圾：

城市垃圾数量庞大，它为日常生活的各种废弃物。这些物质一般腐解度都很差，可以经过堆沤后做为基肥施用。堆沤的方法参考堆肥一节。由于垃圾的成分变化很大，所以它的养分含量也有很大的差异。它的使用方法同一般的堆肥。

### 二、城市污水：

城市污水包括生活污水，工业废水和屠宰场污水。它们含有较多的氮、磷、钾及微量元素等作物需要的养分，但也往往含有一些有害物质及寄生虫卵等，故必须经过适当处理后用以灌溉农田。利用污水灌溉农田，既可解决城市污水的处理问题，又可解决农田水源不足的问题，是综合利用肥、<sup>水</sup>资源，转害为利，变废为宝，收到一举多得的效果。正如有些郊区贫下中农总结污水灌田的好处有三省，即省肥、省水，省工。

#### (一)、污水的种类及性质：

1、生活污水：生活污水一般含氮40~100毫克/升， $P_2O_5$  10~20毫克/升， $K_2O$  10~30毫克/升。可以直接用以灌溉，但由于其中常含有病菌及寄生虫卵，故在利用前需经过适当处理。处理方法一般采用沉淀池进行沉淀，据研究，生活污水经过沉淀三小时后，就可除去30%左右的寄生虫卵，这就大大降低虫病的传播。

2、工业废水：工业废水种类繁多，大都含有一些作物需要的营养元素，但也含有对作物有害的物质，所以必须经过处理后才能利用。现介绍几种对农业上利用价值较高的工业废水：

(1)、石油工业废水：从炼油厂排出的废水，含有较高的氮素，约300~700毫克/升，并含有少量的磷、钾；此外，尚含有一些酚和硫化氢等有毒物质。一般呈中性及微酸性反应。

(2)、炼焦废水：炼焦废水除淋焦余水外还有氨水、蒸汽废水、脱酚污水等，淋焦余水含氮0.38克/升，酚0.22克/升，硫化氢0.07克/升，蒸汽废水中含氮1.38克/升，酚0.297克/升，硫化氢0.102克/升，脱酚污水含 $Na_2CO_3$ 。

(3)、印染、造纸工业废水：印染污水一般污染程度严重，PH值高，含金属离子较多，其成分大致如下：PH 10~11，总氮量10~35毫克/升，氮2.4~10毫克/升，K 50~100毫克/升，此外，尚含有Na、Ca、Mg、S、Cl等元素。由于碱性大，故必须经处理才能利用。

造纸污水由于酸法造纸或碱法造纸的生产工艺不同，或呈强碱性。其中含有氮素、木质素、纤维素较多，粘度较大。

(4)、屠宰场的污水。这种污水养分含量较高，不含有害物质，但含有较多的病原菌及寄生虫卵等，故须经消毒后用于灌田。据北京一家屠宰场污水分析结果：含有总氮297毫克/升， $NH_4-N$

165毫克/升, NO<sub>3</sub> — N 75毫克/升。

## (二) 污水灌田的好处:

1、提供肥料资源、增加作物产量:污水实际上也是一种肥水,含有氮、磷、钾等养分,并且多以水溶态存在,是速效性的,易被作物吸收利用。故利用污水灌田,可为农业提供一部分肥源。北京郊区有的社队用污水灌溉蔬菜,获得很好增产效果,一般比清水浇灌的增产10%左右;天津郊区有的社队利用污水灌溉水稻也获得增产效果;沈阳、抚顺地区利用污水灌田,也出现大幅度增产的景象,据试验,能增产20~50%。

2、提供水利资源,加速农田水利化。“水利是农业的命脉”。随着工业的迅速发展,工业污水也日益增加,充分利用污水灌田,扩大灌溉面积,加速实现农田水利化。沈阳郊区近十多年来,引用污水灌溉水田面积,由一千多亩扩大到十五万余亩。在平原地区,污水灌田可少投资或不投资,实行自流灌溉。丘陵山区,可引水上山,实行井水利用。由于污水水温较高,四季常流,冬季不易冻结,可以做到合理调配,计划用水,终年利用。

3、净化水质、防止污染:污水成分比较复杂,灌入田间后,其中N、P、K、等养分被作物吸收利用,而油、酚、硫化物等有害物质,经过静水沉淀,土壤粘粒的吸附及土壤孔隙的过滤,加上阳光曝晒,空气氧化以及各种微生物等作用,大部分得以分解而被净化。据试验和调查,经灌溉后污水净化率一般可达70~80%以上。这就能防止污染,改善环境卫生,保障人民健康。

4、降低生产投资,节约劳力:引用污水灌田,投资少,收效快,成本低,可大大节约资金及费用,同时节约运肥,施肥的人力和畜力。据沈阳、抚顺地区调查,一亩水田用污水灌溉比清水灌溉可节省电费

3~4元, 化肥30~50斤, 减少用工30%。

5、改良土壤, 提高肥力: 污水中通常都含有较多的悬浮物及有机质, 这些物质进入农田就逐渐累积起来, 改善了土壤结构, 提高土壤肥力。

### (三)、污水灌田的措施:

1、配套田间设施: 在各级沟渠的水口设置隔油板、拦油栅, 处处拦污, 随时打捞, 以除去表面的浮油; 利用地边地角设置沉淀池, 池内附设拦油栅, 层层沉淀, 段段拦油, 使有害物质不进农田; 平整土地, 做到灌水均匀, 肥、水一致。

2、掌握灌量, 控制水肥: 根据污水中养分含量的多少, 掌握灌水量, 避免由于盲目乱灌, 而引起倒伏, 贪青等不良后果。对于含肥高的污水, 可以实行清污轮灌或混灌, 以扩大污水的灌溉面积, 做到经济合理利用。

3、严格控制水质指标: 污水中(特别是工业污水中)常含有一些有害物质, 这些有害物质对作物生长起不良影响, 因此, 在利用污水灌田之前, 需对污水的成分进行分析, 符合农田用水要求时才能利用。应先进行小面积试验, 无害而确有效果者再大面积推广。根据沈阳、抚顺地区盆下中农多年生产实践, 提出石油污水灌田的水质标准如表7-23

表7-23 石油污水灌田水质标准

项 目	一般要求浓度	最高允许浓度
油	20~50	100
可溴化物 <sup>*</sup>	10~15	80
挥发酚	5~10	50
硫化物	3~7	20~30
环烷酸	0.1~1.0	<10.0
PH	6.0~7.5	3.5~8.0
水 质	2.0~2.50	<3.50

## 农业化学

注：除PH、水温外，单位均为毫克/升。

六可溴化物：指污水中凡能被溴化钾、溴酸钾配成的溴液所氧化的全部还原性物质的总合，也有称为“总酚”。

### 三、工农业废弃物：

工农业废弃物种类繁多，为工矿企业的各种矿渣及废弃物，屠宰场的废物以及皮毛加工厂的废物等等。它们都含有一定的养分。

(一)、含钼的废渣：它是制钼酸铵的废物。其成分主要是含有5.5%的钼，但为难溶性态，作物不易利用，可同有机肥一起堆腐后施用。

(二)、钨泥：钨泥中含有4~5%的钼，故可提取钼肥。

(三)、硼镁渣：是制硼砂过程中的渣子。可以直接利用其中的硼。

(四)、钢铁厂废物：钢铁炉渣是冶炼厂的废弃物。一般含大量的硅和钙，中量的铁和铝等，少量的锰、磷，微量的铜、硼、钼、锌等。

这种废渣，因经过热制处理，有一部分为易溶态的，可供作物吸收利用；另一部分为难溶性的，可与有机肥一起堆腐后施用。钢铁废渣为一种碱性物质，故适用于酸性及中性土壤。

(五)、蹄角类废物：各种牲畜的蹄壳。它们是复杂的蛋白质，含氮素多，一般达14~15%，磷、钾少，含 $P_2O_5$  0.2%， $K_2O$  0.3%左右。

兽角也是复杂的蛋白质。一般含N 12%， $P_2O_5$  8%， $K_2O$ 很少。蹄角类虽含氮高，但为有机态，作物不能直接利用，故须堆沤发酵后方可使用。

(六)、毛发类：包括屠宰场的畜毛，皮革工厂的畜兽毛，以及理发店的人发等。这些物质也是含氮的复杂物质，其养分含量如 7—24

表7-24 毛发类营养成分含量

种 类	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
猪 毛	13.0	0.02	微 量
牛 毛	13.8		
马 毛	12.0		
鸡 毛	14.21	0.12	微 量
人 发	13.16	0.08	0.07

毛发类所含的氮也是有机态的，较蹄角类更难腐烂，故须堆腐后施用。

必须指出：毛发等也是工业的原料，因此用于工业上更为合理。

(七)、血粉和肉粉：动物的废血及废肉，干燥后加以粉碎即为血粉和肉粉。主要成分为蛋白质，含磷多。干的血粉含氮15.25%，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.3%，K<sub>2</sub>O 0.4%，肉粉：N约9%，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4%。有的农村有将血粉拌种施用。即在播种时将种籽浸湿，然后每亩用5~8斤的血粉进行拌种。

血粉和肉粉实际上是一种很贵的精饲料，因此，最好用做饲料。

(八)、皮革粉：皮革粉是制革工业的副产品，其中含氮约5.3%，磷、钾极少，皮革粉须经堆腐后施用。

(九)、糟渣类 芝麻酱渣一般含N 1.23%，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.14%，K<sub>2</sub>O 极少，NaCl 5%左右，故不宜用于盐碱地上。酒糟一般含N 2.5%，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.3%，K<sub>2</sub>O 1.2%。以上所述的糟渣类都是很好的饲料，故应做为饲料更经济合理。



## 第六节 杂肥

## 一、禽粪：

家禽粪是一种优质的有机肥料，氮、磷、钾含量都很丰富，其中氮主要呈尿酸盐的形态，植物不能直接吸收，土壤也不能保存。禽粪在发酵时能产生高热，会烧伤植物的幼根，所以禽粪不宜新鲜施用，一般掺土混合加水或与堆肥、厩肥等混合堆腐后施用。禽粪含养分丰富。故腐熟的禽粪可做追肥用。

表7—25 新鲜禽粪平均养分含量

种 类	水 分 (%)	有机质 (%)	N(%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O(%)
鸡	50.0	25.5	1.63	1.54	0.85
鸭	56.0	26.2	1.00	1.40	0.62
鹅	77.1	23.4	0.55	0.50	0.95
鸽	51.0	30.8	1.76	1.78	1.00

## 二、蚕粪：

随着养蚕事业的发展，蚕粪的数量也不断增加。蚕粪又称蚕沙。包括蚕粪及食余的桑叶等。蚕粪中氮的形态也是尿酸盐，与禽粪相同，富含N、P、K等养分，所以也是一种优质的肥料。蚕粪中养分含量的多少与蚕令有关，表7—26

表7—26 新鲜蚕粪(风干物)养分含量(%)

蚕 令	灰 分	有机质	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
第一令	11.38	88.12	3.58	0.50	0.84	0.67
第二令	11.19	88.81	2.32	0.70	2.65	3.15
第三令	11.10	88.90	3.29	0.66	3.40	2.86
第四令	13.38	86.62	2.32	0.75	3.19	2.81
第五令	14.81	85.19	2.22	0.72	2.45	3.10
老 蚕	22.36	77.64	13.55	8.37	10.15	1.16

三、缸沙:

缸沙是贮存人粪尿的粪缸内日久所结成的白色固体,缸沙成分如表

7—27

表7—27 缸沙成分(%)

水 分	N	NH <sub>4</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	水溶性 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
27.86	4.78	4.01	34.22	1.82	0.43

从上表可见,缸沙是一种含磷量很高的肥料。一般是粉碎后做种肥施用。

(四)、兔粪:

兔粪也是农村中常见的家畜粪便,其中养分含量也很丰富,其性质似羊粪,所以也是一种很好的肥料。兔粪可以与其它家畜圈粪一起

堆腐后施用。

此外，在沿海一带农民还有施用各种海肥的习惯。海肥的种类繁多，有动物性海肥（如鱼、虾、蟹、贝类及海星等）；植物性海肥（如海藻、海青苔、海等）和海泥。

渤海岛屿还有海鸟粪，它是海鸟的排泄物，混有海鸟的尸体和残枝落叶等杂质，经长期分解而成。也是一种很好的肥料。

### 第七节 油饼的合理利用

榨油后剩余的残渣叫做油饼，我国农民长期有施用油饼的习惯。如河北、河南、山东、山西、陕西等省棉区农民有施用棉籽饼；四川、贵州、湖北、浙江等地有施用桐籽饼和棉籽饼；湖南、安徽、浙江等地有施用茶籽饼；江苏、浙江、福建等地有施用菜籽饼等习惯。

饼肥虽然是一种优质的有机肥料，但有不少油饼乃是家畜的优良的精饲料；另一些油饼还是工业原料，因此，把油饼直接当做肥料来应用是很不经济的。解放后，随着化肥工业的迅速发展以及各种农家肥料的挖掘，用油饼当肥料的也日益减少，许多地区在发展畜牧业上多用油饼做为饲料，而后用牲畜的粪尿肥田，这是今后利用油饼的方向。鉴于目前尚有地区施油饼的，因此将油饼略做介绍：

#### 一、油饼的种类、成分与性质：

油饼的种类很多，成分也不一致，有机质含量在75～85%， $N_2 \sim 7\%$ ， $P_2O_5 \ 1 \sim 3\%$ ， $K_2O \ 1 \sim 2\%$ 。

表 7—28 几种油饼的营养含量 (%)

种 类	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
大 豆 饼	7.00	1.32	2.13
花 生 饼	6.32	1.17	1.34
棉 籽 饼	3.41	1.63	0.97
菜 籽 饼	4.60	2.48	1.40
芝 麻 饼	5.80	3.00	1.30
蓖 麻 饼	5.00	2.00	1.90
胡 麻 饼	5.79	2.81	1.27
大 麻 籽 饼	5.05	2.40	1.35

从表 7—28 中看出：豆科作物的油饼如大豆饼、花生饼等含氮高，磷、钾少；棉籽饼、菜籽饼、胡麻饼等则含磷较高。

油饼内所含氮素主要是蛋白质形态，所含磷素主要是有机态的，这些氮和磷不宜直接为作物吸收利用，必须经过分解后才能发挥肥效。油饼肥效的快慢，与油饼的种类有很大关系，一般含氮较高的其肥效也较快；含氮低的其肥效慢；含油质多的其肥效更慢。

## 二、油饼的肥效及施用方法：

一般油饼含氮较为丰富，並含有相当数量的磷、钾及各种微量元素，肥效比较稳定持久，是一种优质的有机肥料。

油饼可用做基肥或追肥，油饼肥效的快慢与土壤的通气状况、水分含量、温度高低以及油饼本身的成分和分碎程度有很大关系。一般说油饼中 C/N 值小的、分碎度细的分解快；含油多的分解慢，同时

土壤通气良好、水分合适、地温较高的分解快，所以春夏肥效快，秋冬肥效慢。含有合适水分的旱地要比水田肥效快。油饼一般不宜直接施用，须经粉碎堆腐后施用。若直接施用，则由于分解过程中产生的热对作物有不良影响，加之，油饼中的油脂也会阻碍作物根系对养分和水分的吸收利用。

油饼肥效很好。据华北农科所和天津军粮城试验站进行的豆饼和硫酸铵对比试验结果看：两者的肥效相差不多，在施肥的当年豆饼的肥效次于硫酸铵，但后效比硫酸铵长久。油饼的施用量随生产水平而异，在目前的生产水平条件下每亩用100～200斤。

### 三、油饼的合理利用：

前已提到，油饼是一种良好的精饲料和一些工业原料，因此，对于那些可用做饲料的油饼应用作饲料，然后用牲畜的粪便肥田，一举两得。据中国科学院土肥所和畜牧所的试验证明每四斤油饼喂猪，约可增一斤，用猪的粪便肥田比直接用四斤油饼肥田的增收玉米5.1斤，可见用做饲料的其经济价值更高。

有些油饼因含有毒素，不能做饲料，但可作为工业原料利用。如茶籽饼，其中含有相当数量的皂素皂素良好的洗涤剂，也是农药制备上的重要原料，所以最好是先提取其中的皂素后再用做肥料。

当前“5406”抗菌菌肥在生产上大量推广应用，豆饼是制备“5406”抗菌菌肥的原料，也是利用油饼的方向。总之，随着我国工业及畜牧业的发展，用油饼做工业原料及家畜饲料才是经济合理利用油饼的方向。