

测土施肥技术与 瓜果蔬菜施肥技术

刘 哈 丽 译 编



1987

化工部上海化工研究院

前 言

“测土施肥技术”在世界各发达国家已普遍应用，部分发展中国家也较早地从事这方面的研究和应用。目前我国不仅农科院、土肥所及农业院校在从事这方面的试验和推广工作，而且大部分省、市、地、县也都设有土肥站从事这方面工作。只是由于各地重视及技术条件不完全相同，因此各土肥站所发挥的作用也不尽相同。

为配合当前我国测土施肥技术的试验和应用需要，上海化工研究院肥效室刘哈丽同志用了多年的时间收集了大量有实用价值的国内外（主要是国外）测土施肥技术资料，经过整理编写而成《测土施肥技术与瓜、果、蔬菜施肥技术》这本书。全书共分八章。第一章介绍了植物所需养料、土壤物化性质及植物、土壤、肥料三者之间的关系；第二章介绍了测土施肥技术诀窍及目前几种通用的土壤测试方法和植物营养诊断方法；第三章介绍了土壤测试中通用的分析方法；第四章介绍了微量养料在农业上的应用技术；第五章介绍了西瓜施肥技术；第六章介绍了水果施肥技术；第七章介绍了蔬菜施肥技术；第八章介绍了油料作物的施肥技术。书后附有第二章附录 I—Ⅶ。无论从理论研究，还是从实际应用，均有详细数据。

本书请上海化工研究院叶廉高级工程师进行了审校。

本书可供从事农化服务的农科院、土肥所、土肥站、农业院校、化肥厂、农资部门及主管化肥工业和农业的领导部门参考，也可指导复（混）肥生产厂获得正确肥料处方的途径。

责任编辑：韩勇革

参加人员：徐慧敏 朱震中 盛康顺 姚培贞 贝新华 谈留雄

封面设计：吴必刚

插图：祝文龙

目 录

第一章 植物、土壤、肥料及其三者的关系	(1)
一、植物需要的养料.....	(1)
二、土壤的性质.....	(5)
三、植物、土壤、肥料三者的关系.....	(8)
第二章 测土施肥技术	(12)
一、测土施肥的原理及其重要性.....	(13)
二、测土施肥技术的内容.....	(14)
三、几种测土施肥方法的技术诀窍.....	(19)
第三章 土壤测试通用方法	(30)
一、土壤pH值的测定和石灰石使用量的确定.....	(30)
二、土壤糊pH值及电导率的测定.....	(32)
三、磷的测定.....	(34)
四、钾、钠、钙、镁的测定.....	(39)
五、碳酸氢铵—DTPA测硝态氮、钾、磷、锌、铁、锰和铜.....	(41)
六、用0.1NHCl提取测定锌.....	(41)
七、用热水提取测定硼.....	(42)
八、用Mehlich 2 提取液测定钙、镁、锰、磷、钾和钠.....	(43)
九、改良碱性土需石膏用量的测定.....	(47)
第四章 微量养料在农业上的应用技术	(48)
一、概述.....	(48)
二、微量养料诊断技术概论.....	(48)
三、我国土壤微量元素分布情况及微肥应用试验.....	(50)
四、微肥在国外的应用概况.....	(52)
五、微量养料的植物组织测试.....	(61)
第五章 西瓜施肥技术	(66)
一、西瓜吸收养料特性和施肥方法.....	(66)
二、国外西瓜施肥情况综述.....	(66)
三、我国西瓜施肥试验实例.....	(68)
四、几点建议.....	(71)
第六章 水果施肥技术	(73)
一、柑橘施肥技术.....	(73)

二、苹果施肥技术·····	(82)
三、梨树施肥技术·····	(89)
四、桃树施肥技术·····	(94)
五、葡萄施肥技术·····	(97)
六、香蕉施肥技术·····	(99)
七、菠萝施肥技术·····	(102)
第七章 蔬菜施肥技术·····	(105)
一、英国蔬菜施肥技术·····	(105)
二、加拿大蔬菜施肥技术·····	(109)
三、德国BASF公司指导蔬菜施混(复)合肥料·····	(111)
四、其它国家蔬菜施肥技术·····	(114)
五、注意事项·····	(118)
第八章 油料作物施肥技术·····	(122)
一、花生施肥·····	(122)
二、大豆施肥·····	(124)
三、芝麻施肥·····	(125)
第二章 附录·····	(126)
附录 I 美国四十~五十年代中期测土施肥的科研学术报告·····	(126)
附录 II 土壤测试说明的研究——实验室和盆栽试验·····	(133)
附录 III(1) 美国卡罗拉多州立大学土壤测试实验室采用的土壤测试新方法·····	(141)
附录 III(2) 美国卡罗拉多州推荐肥料用量指南·····	(147)
附录 IV 国内现有土壤肥力分级研究及推荐施肥·····	(159)
附录 V(1) 评价土壤肥力·····	(165)
附录 V(2) 英国的推荐施肥·····	(183)
附录 VI 用两步法提高测土施肥的准确性·····	(188)
附录 VII 美国奥本大学与农业试验站协作供给各农化服务实验室推荐肥料用量和计算机程序·····	(195)

第一章 植物、土壤、肥料及其三者的关系

一、植物需要的养料

植物和人、动物一样，必须吸收养料才能生长和发育。植物的养料和来源是：1.从土壤中吸收水份和无机矿物质；2.从大气中吸收 CO_2 ；3.从太阳吸收能量。植物的叶子是世界上最奇异的化学实验室和化工制造厂，通过光合作用可以合成蛋白质和碳水化合物(淀粉、糖类、纤维素等等有机组份)。植物生理学家发现，基本上由17种化学元素生产了粮、油、水果、蔬菜、纤维、糖、蛋白质、维生素、中草药、橡胶……。这17种化学元素根据需要量的多少分类如下：

大量营养元素：碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、钾(K)

中量营养元素：钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)、硅(Si)

微量营养元素：硼(B)、铜(Cu)、铁(Fe)、锰(Mn)、钼(Mo)、锌(Zn)、氯(Cl)

上述17种元素均是植物营养要素，缺一不可，不能互相代替。除碳(CO_2 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^-)、氢(H_2O 、 H^+ 、 OH^-)、氧(H_2O 、 CO_2 、 O_2)大量来自空气和水外，其余均来自土壤和肥料。

(一) 植物养料的种类及作用

1. 氮肥

(1) 植物吸收形态： NH_4^+ 、 NO_3^-

(2) 作用：①是细胞原生质、蛋白质、核酸和叶绿素的重要组成部份；②对细胞分裂起关键作用，可促使枝叶生长茂盛；③能改进多种蔬菜和饲料的质量，增加玉米、饲草、高粱等的蛋白质含量。

(3) 缺乏症状：①从叶尖到叶柄逐渐变为浅绿到淡黄色，以致干枯落叶；②生长矮小(发育不全)；③严重缺乏时开花数大量减少，使产量下降；④蛋白质含量降低。

(4) 过量征兆：①叶为暗绿色，多汁柔软，抗病虫害、冷害等性能降低；②随着茎伸长，分蘖增加，抗倒伏性差；③晚熟。

2. 磷肥

(1) 植物吸收形态： PO_4^{3-} 、 HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^-

(2) 作用：①是磷脂(如核酸、辅酶、二核苷酸、三磷酸腺苷)等的组成部份，是生命物质的基础；②能满足分生组织生长的需要，有助于种子和果实发育，并可刺激开花和根的发育；③有助于豆科作物的根瘤生长。

(3) 缺乏症状：①植物生长矮小，叶子呈兰绿色，根发育不良；②严重缺乏时，叶茎有时呈紫色，并且细长；③延迟成熟，籽和果实发育不良。

(4) 过量征兆：①使作物过早成熟，导致降低产量；②会导致锌、铁、镁的缺乏。

3. 钾肥

(1) 植物吸收形态： K^+

(2) 作用：①在蛋白质和碳水化合物新陈代谢中起酶的活化作用；②帮助输送碳水化合物，有利于蛋白质的合成并维持其稳定性，能使气孔通畅，增进膜的渗透力，并能控制pH；③在阴冷天气能促使植物充分利用阳光，从而提高植物的抗寒和抗恶劣环境的能力；④提高植物的抗病能力；⑤促进种子和谷粒丰满，并能提高水果和蔬菜的质量。

(3) 缺乏症状：①植物生长缓慢，发育

不全；②叶子边缘枯萎，叶的顶部变棕色，并逐渐向内扩展；③主茎长势弱小，高N/K比易倒伏；④籽、果实枯萎。

(4) 过量征兆：①和氮一样易过量吸收，但不会出现过量症；②土壤中钾过量阻碍镁、钙的吸收，引起镁、钙的缺乏症。

4. 钙肥

(1) 植物吸收形态： Ca^{2+}

(2) 作用：①以果胶酸钙的形式形成细胞壁组份，有助于茎、叶、根的生长；②是酶的活化剂；③可中和植物中的有机酸，起解毒剂的作用；④有助制造碳水化合物。

(3) 缺乏症状：①首先影响植物的嫩叶，会使其变形、长不大，异常暗黑；②内层叶子胶着，干燥后粘在一起，叶尖勾起；③根部生长明显受损，发生烂根；④在严重缺乏时生长点干枯；⑤有落叶和早开花的倾向；⑥茎不结实（如花生空壳，玉米新芽不展开）。

(4) 过量征兆：①不会出现钙的过量症；②过多使用钙会阻碍镁、钾、磷的吸收；③在高pH时，会降低锰、硼、铁等的溶解性，助长作物的缺肥症。

5. 镁肥

(1) 植物吸收形态： Mg^{2+}

(2) 作用：①是叶绿素的关键元素；②是碳水化合物新陈代谢、核酸合成等很多酶的活化剂；③促进磷的吸收和输送；④有助于植物中糖的生成；⑤是根从土中吸收其它养料的调节剂。

(3) 缺乏症状：①首先在老叶边缘和叶脉处褪绿，产生条斑花叶病，严重缺乏时植株干死；②叶子小，最终变脆，边缘向上卷曲；③有些蔬菜在叶脉之间有褪绿斑点，并夹杂红、紫色；④嫩枝较弱小，易受菌类侵袭，提前落叶。

(4) 过量征兆：土壤中的Mg/Ca比过高会阻碍农作物的生长。

6. 硫肥

(1) 植物吸收形态： SO_4^{2-} 、 SO_3^{2-}

(2) 作用：①是蛋白质的组份；②提高维生素、辅酶A的新陈代谢活性，能刺激根和种子的生长；③协助大豆等油料作物油的合成和叶绿素的形成，促使豆料作物根瘤的生长。

(3) 缺乏症状：①叶子变为黄绿色或变黄；②阻碍嫩枝发育；③茎变得硬而脆。

(4) 过量征兆：①植物本身的过量症不会出现；②多施含硫酸根肥料会使土壤呈酸性；③使水田产生硫化氢毒害；④产生二氧化硫气体公害。

7. 硼肥

(1) 植物吸收形态： BO_3^{3-}

(2) 作用：①满足种子发育和花粉生长的需要；②主要对蛋白质合成起作用，与木质素合成也有关；③能增进膜的渗透力，从而有助于输送碳水化合物；④有助于根的发育。

(3) 缺乏症状：①顶芽呈淡绿色，上部较下部更灰白些，苗、芽尖枯死；②叶变厚变脆，有时卷缩；③根枯萎，不结花蕾（如棉花）；④块根作物根部增厚的区域有深色斑点，心子发黑；⑤苹果等生长时会出现内外变软症状；⑥芹菜茎裂开；⑦花椰菜变得萎小、畸性和带褐红色；⑧柑橘严重落果，叶脉发黄。

(4) 过量征兆：绿叶呈黄色接着变褐；②在微量元素中，硼的施用极微，稍有不慎，即容易出现过量症。

8. 铜肥

(1) 植物吸收形态： Cu^+ 、 Cu^{2+}

(2) 作用：①是细胞色素氧化酶、乳酸酶等的组份；②增加维生素A和C的含量。

(3) 缺乏症状：玉米上部叶子或嫩叶发黄、叶尖卷缩、叶边不齐；②新生长的柑橘类植物枯萎，树叉长出胶囊，果子长棕色赘瘤；③蔬菜叶子枯萎。

(4) 过量征兆：①阻碍主根伸长，支根

短小；②植物生长不良，叶枯萎；③铜过量导致缺铁。

9. 铁肥

(1) 植物吸收形态： Fe^{2+} 、 Fe^{3+}

(2) 作用：①是生成叶绿素的催化剂；②是很多酶的主要组份；③是植物中氧的载体，对核酸的新陈代谢起主要作用；④为细胞生长所需。

(3) 缺乏症状：①叶脉间褪绿，先影响新叶，但保持叶边绿色较长；②严重缺乏时，整个叶脉和脉叶间变黄，有时脱色。

(4) 过量征兆：①水稻吸收 Fe^{2+} 会出现还原性障碍；②施过量铁时会促使磷固定，降低肥效。

10. 锰肥

(1) 植物吸收形态： Mn^{2+} 、 Mn^{4+}

(2) 作用：①加速种子发芽和植物成熟；②直接帮助制造叶绿素；③是若干酶的活化剂，为丙酮酸脂羧化酶的组份；④有助于植物呼吸过程，能促使碳水化合物氧化为二氧化碳和水。

(3) 缺乏症状：①嫩叶脉间褪绿，在叶脉之间出现褪绿和坏死斑点；②新叶柄附近呈一片灰色，慢慢变成黄色直至橘黄色；③会使燕麦发生灰斑病，豌豆产生盐渍点，甘蔗产生条斑病。

(4) 过量征兆：①根系变褐，叶上出现斑点并且叶绿部份变为白色、紫色；②果树不正常落叶；③锰过量会助长铁缺乏。

11. 钼肥

(1) 植物吸收形态： MoO_4^{2-}

(2) 作用：①主要与豆科作物根瘤固定氮有关；②植物吸收氮肥转化为蛋白质时需要钼，是硝态氮还原酶的组份。

(3) 缺乏症状：①下部叶子叶脉间出现褪绿斑点，随后边缘坏死；②花椰菜的叶子只剩中脉，或少数叶片呈鞭状；③豆科作物可明显出现缺钼象征。

(4) 过量征兆：①植物一般不会出现钼

过量症；②叶上出现枯萎；③马铃薯小枝呈红黄色，西红柿小枝呈金黄色。

12. 锌肥

(1) 植物吸收形态： Zn^{2+}

(2) 作用：①有助于植物激素吲哚乙酸的生物合成；②是植物中许多金属酶的基本成份；③促进蛋白质和核酸的合成；④有助于植物中磷和氮的利用。

(3) 缺乏症状：①从植株顶部往下数第二或第三片成熟的叶子明显地出现缺乏症状；②开始，玉米叶子下半部出现浅黄条，以后逐渐在叶中筋和叶边之间出现白色或黄色宽带夹杂红紫脉纹；③小麦在叶脉中筋和叶边之间有白（或黄）带，叶脉中间有枯斑，叶片中部由白色直到棕色坏死，坏死面积逐渐连接；④水稻插种15~20天，老叶上出现小的浅黄点，以后扩大为成片深棕色，整个叶子变铁锈色，不到一个月就枯死；⑤柑橘类叶脉之间干枯，顶叶变窄小，出现小“叶”，果芽明显减少，嫩叶枯萎。

(4) 过量征兆：新叶上出现黄色，并在叶茎上出现红褐色斑点。

13. 氯肥

(1) 植物吸收形态： Cl^-

(2) 作用：①是含氯植物生长激素—氯化吲哚-3-乙酸异茁长素的组份；②在未成熟种子内起异茁长素作用；③在真菌和微生物的化合物中发现含有氯；④刺激某些酶的活性，并影响碳水化合物新陈代谢和植物组织的蓄水能力。

(3) 缺乏症状：叶尖凋萎，叶子褪绿，最后患青铜病，并干枯。

(4) 过量征兆：氯对烟草有害，肥料中氯的浓度不能大于2~3%。

14. 硅肥

(1) 植物吸收形态： SiO_4^{4-}

(2) 作用：①能增加稻的硅细胞，增强水稻的抗病、抗虫能力；②能使作物茎叶粗壮，抗倒伏能力增强。

(3) 缺乏症状：①水稻生长不良，出穗晚，出现白穗，阻碍结实，稻壳上出现褐色小斑点；②叶子下垂，易染病，易倒伏。

(4) 过量征兆：在土壤中多添加矿渣之类物料，会提高土壤的pH值。

(二) 过量养料的毒害

要使植物健壮地生长和发育，就应当保证每一种营养元素都能满足植物的需要。但任何一种养料的过量都会产生毒性而损害植物生长。

一般情况下，除了高浓度的磷酸盐会使锌失效和阻碍其吸收外，大量地施用含磷、钙、镁和硫等化肥，要比养料不平衡的危害性小些。过量地施用石灰将引起除钼以外的其它微量元素的缺乏。把水溶性的氮、钾盐大量地施在种子附近，将会伤害种子的发芽和出苗。

植物需要微量的硼、铜、铁、锰、钼、锌和氯。在施加上述任何一种养料时，只要稍微过量，就会直接对植物产生毒害，过多施用比施用不足的危害性要大得多。生长在沙土中的花椰菜，每公顷只需要2~5公斤硼砂（约为0.25~0.7斤/亩）。如果每公顷施10公斤（1.33斤/亩）就会毁坏作物。甜菜和紫花苜蓿需硼量比较高，如果施得过量，经常和这些作物轮作的豆科作物就会受到伤害。在种植甜菜和紫花苜蓿的田里，一般每公顷施25~50公斤硼砂，这相当于在含石灰较高的钙质土里施100公斤硼砂，接近豆科作物的临界限度。在有机质含量高的土壤里，一般缺铜，向这种土壤稍微添加些铜不会引起毒害，但施铜和镁过量，也会引起其它养料缺乏。每一种养料的毒害症状随植物而异。例如，过量的硼会使甜菜干枯，使柑橘类叶子枯萎和脱落；过量的钼会使蕃茄的嫩苗呈金黄色；过量的锰会使马铃薯产生条纹枯斑。为了避免这些危害，所施的肥料量应根据土壤的性质和作物需要的养料量而定。尤其施用微量元素更要特别注意不得

过量。

镍和铅等重金属，在某些土壤中自然地达到有毒害的剂量时，施用石灰石可减轻其毒性。

(三) 各种养料的指示植物

当土壤中养分不足时，所有的谷类作物都会根据养分不足的程度，多少显示出缺乏养料的症状，发现下述作物对严重缺乏某种养料特别敏感。

缺乏的养分	指示植物
氮	苹果、玉米、非豆科小粒谷类、芥菜、柑橘类
磷	玉米、大麦、苜蓿、蕃茄、绿肥、油菜、萝卜 >豆科作物>非豆科越冬作物>早稻>晚稻。
钾	马铃薯、甜菜、棉花、烟草、甘蔗、芹菜、苜蓿、蕃茄
钙	玉米、葫芦、紫花苜蓿及其它豆科作物
镁	马铃薯、花椰菜、灌木樱桃
硫	紫花苜蓿、三叶草
铁	高粱、大麦、花椰菜、柑橘类、桃、
锌	玉米、洋葱、桃、柑橘类、棉、麻
锰	苹果、杏类、豆类作物、燕麦、樱桃、豌豆、小萝卜、小麦、柑橘、玉米
铜	苹果、柑橘类、大麦、玉米、燕麦、苜蓿、洋葱、烟草、蕃茄
硼	紫花苜蓿、甜菜、芹菜、萝卜、花椰菜、苹果、桃、油菜、棉花
钼	豆科作物、花椰菜、白菜类、柑橘类、燕麦、菠菜
氯	苜蓿

(四) 植物养料的来源

植物从下述途径获得养料：①来自土壤溶液，即溶解于水中的各种营养盐类；②来自粘土腐植质的土壤微粒，它们带有阴电荷，称为土壤胶体，其表面吸附可交换的阳

离子；③来自即将分解的矿物质，或过去施入的肥料残留物，如有效磷与土壤中铁、铝、钙等作用变为不溶于水的无效养料，这就是磷肥被土壤固定，但并不损失，在一定条件下，又可变为有效养料。含氮、磷有机质在土中经细菌分解，逐渐供给有效养料。④通过叶子气孔吸收养料。

植物需要养料主要是通过上述途径获得。土壤中的粘土和腐植质微粒这些带有阴电荷胶体表面吸附着铵(NH_4^+)、钾(K^+)、钙(Ca^{2+})、镁(Mg^{2+})等阳离子，不会被水淋洗掉，能与植物根分泌的氢(H^+)离子交换而进入土壤水溶液中，从而被根吸收进入植物体内。土壤有机质也是植物养料阴离子(如 H_2PO_4^- 或 SO_4^{2-})的仓库，当含磷、硫等元素的有机质被土壤微生物分解后，产生的阴离子进入土壤液溶，从而成为植物的有效养料。

(五) 各营养元素的适时施肥时间

1980年美国 Stoller 化学公司研究了各种营养元素的适时施肥时间，根据植物生长三个阶段的需养料情况，确定适时的施肥措施。

(1) 作物种植后0—40天需施用磷、锌、铁、锰、铜、镁。这些养料施入土后移动性较小，只停留在施肥处，不易随水份流到根处。根发育后才能与这些养料接触。作物幼根比作挂帽架，易移动养料，如氮、钾很快挂满帽架，没有余地留给慢移动和不易移动的元素，这是幼小作物常遇到的情况。因此作物生长的头40天常缺乏不易移动的元素。当土壤被易移动元素饱和时，最常见的是缺乏微量元素。这些不太移动的养料，就应在植物生长的头40天，穴施或条施于种子附近。也可在作物长出4片叶子时，叶面喷施。最好不要撒施于整个大田。根据质量作用定律，以高浓度不移动养料施于种子附近，可以克服易移动元素过分被根吸饱而影响不易移动元素的吸收。在植物快速生长之前，最需要

易移动的养料，此时将氮、钾翻入土下靠近幼苗最为适宜。但浓度不能太高(如花生等)，钾浓度高也会产生缺镁问题。

(2) 作物快速生长阶段：

作物快速生长阶段需施用氮、钾、硫、钼。氮、钾在土壤中易移动，植生长期用量较大。钼是使作物中硝态氮转化为蛋白质的一种酶的催化剂。缺钼时，水稻会倒伏，棉花会落蕾。在酸性土上，钼对高氮作物的效果最好，如豆科作物、玉米、小麦、大麦、棉花、烟草等。

(3) 作物结籽实阶段：

作物结籽实阶段需施用钙和硼。钙能保留糖和淀粉于叶中，硼能输送这二者到籽实中。若硼多了而没有足够的钙，则由于缺乏糖和淀粉而呈现硼毒害。反之，虽有足够的钙制出了很多的糖和淀粉，由于缺硼，却无法送到籽实中。钙和硼均为不易移动元素，故以少量分几次喷于叶面为好。测试表明，作物组织内、作物上部叶子含钙多，而下部叶子缺钙。这是作物本身造成的，不是土壤缺钙所致，故叶面喷施钙效果较好。作物缺钙好像人得癌症，细胞被破坏，叶面施钙可治愈之。如蕃茄开花早期，每周每亩喷施液体钙166毫升，花生开花初期，每亩叶面喷施液钙630毫升，一周后再喷施630毫升，均能有效防治缺钙症。

为了防止铁、铝、铜的毒害作用，土壤pH必须保持在4.8以上，pH值5.5最好。因pH5.5时，大多数金属元素可溶性较高。微量元素叶面喷施比施于土壤效果大30倍。

二、土壤的性质

土壤是重要的自然资源，所有植物均依赖其生长。土壤供给植物不同数量和不同配比的各種养料，其适应植物生长的能力大小统称为“土壤肥力”。它包括土壤供给植物有效养料量、养料的比例(即养料平衡情况)、

土壤团粒的物理性质、土壤的化学性质、有机质含量及微生物的数量。如果忽视上述各种与土壤肥力有关的因素,盲目施用有机肥、绿肥或化肥,则所供给的养料将是无效,甚至是有害的。因此,必须了解土壤的这些性质。

(一)土壤的物理性质

(1) 土质: 土壤中包含直径等于或小于2毫米的不同矿物粒子,其组成的比例叫做土质。国际上把土壤中矿物粒子按其大小分为四种:粗砂(粒子直径2~0.2毫米)、细砂(0.2~0.02毫米)、粉砂(0.02~0.002毫米)、粘土(小于0.002毫米)。土壤可分为沙质土、沙质壤土、粉砂质壤土、壤土、粘质壤土和粘土,土质的分级见图1。

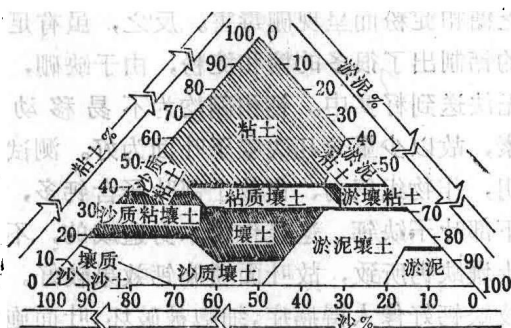


图1 基本土质分级

由不同质地的粒子集结成的土壤结构分为四种类型:板状土、棱柱状土、块状土和团粒土。多孔的团粒土疏松易耕作,水分和养料滞留能力大,排水和透气性能好,最适宜植物生长。施有机肥有助于形成团粒土。土壤结构与水在土中渗透快慢的关系见图2。

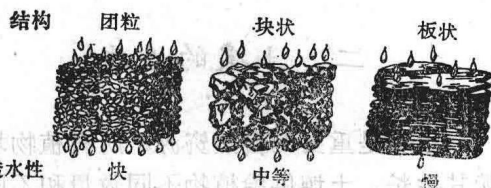


图2 土壤结构与透水性能

(2) 土壤中的水和空气: 土壤孔隙中存在不同量的水和空气。不同土壤,孔隙的大

小和多少不同。雨后孔隙充满水份,几天后,经过渗透、蒸发和植物吸收,失去部分水,孔隙被空气填充。含一半水和一半空气的土壤孔隙,比较适合植物的生长。当土壤含水量减少到使植物生长凋萎时,叫作凋萎点。

(二)土壤的化学性质

(1) 土壤反应: 土壤反应即土壤的酸碱性,用pH值表示,中性土pH值为7,比7大的是碱性土。比7小的是酸性土。土壤反应对植物生长是重要的,原因是:

①对植物养料的有效性和土壤微生物繁殖影响很大(见图3)。土壤pH在6.5~7.5之间,氮、磷、钾、钙、镁、硫、钼、硼的有效性最大,也最适合土壤微生物繁殖。酸性土中,溶解的铁、铝较多,与有效磷作用产生磷酸铁和磷酸铝沉淀,使有效磷变为无效磷。碱性土中,磷转变为不溶性的磷酸钙。因此,酸性土和碱性土均需改良,前者施石灰,后者可施磷石膏或硫。

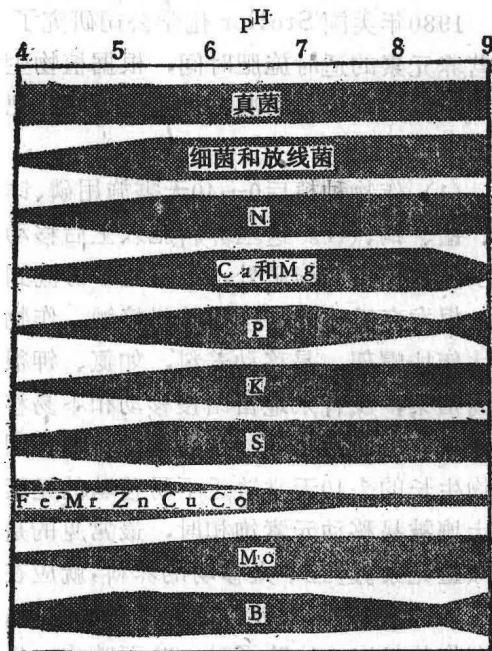


图3 土壤pH和植物养料有效性的关系

(黑带越宽有效性越大)

②不同作物对土壤反应具有不同的适应性。许多主要作物和蔬菜耐酸力弱,在生长

发育时易受损害，如小麦、大麦、烟草等。但水稻、燕麦、豆类、茶叶等耐酸力相当强。各种主要作物适合的pH范围见图4。

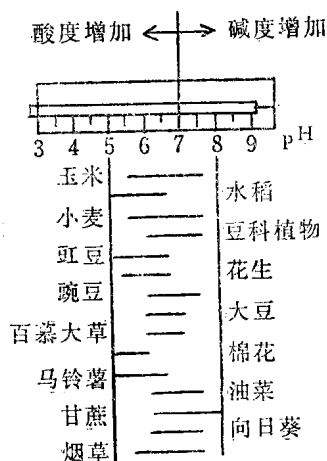


图 4 适合作物茂盛生长的土壤pH

(2) 有机质含量：粪肥、绿肥、蒿秆、堆肥以及其它废料对土壤来说都是有价值的有机质。当上述这些物质施于土壤后，被土壤中各种微生物分解和消化，最终腐烂成棕黑色的物质，称作“腐植质”。

有机质在土壤中的主要作用有：①有机质的分解产物与土壤微粒粘结在一起，称作团粒，这些团粒有助于保持土壤疏松。因此，有利于土壤耕作、透气、透水。②有机质可以更有效地保土、保水和保肥，使植物养料的流失减少到最低限度。此外，还可提高沙质土壤的蓄水能力。③有机质是植物营养要素的储存库，植物在生长发育中吸收有机质分解出来的氮、磷、硫、微量元素、激素和有机酸等各种养料。④新鲜的有机质可作为土壤微生物的粮源，微生物再分解有机质，变成有效养料被植物吸收。

不断给土壤添加各种粪肥、厩肥、堆肥和绿肥，就能保证土壤肥力。

(三) 土壤中的养料需要平衡

当土壤中各种养料被植物根部吸收进入植物体内时，它们之间既协作又竞争，其相互关系相互作用常常是复杂的。只有使各种养

料得到相应的平衡，才能使植物生长茂盛。

有关不平衡养料的实例报导很多，例如过量的钾会降低作物对钙、镁的吸收量，特别是需镁较多的水果和蔬菜尤为明显。反之，有效的钙、镁过量，就会降低作物对钾的吸收量。但这比钾肥对钙、镁的影响要小得多。在缺镁的土壤中施钙会减少作物对镁的吸收。有时由于钠抑制钙、镁的吸收，从而促进钾的吸收。但是，在某种场合下钠又会降低钾的吸收。有许多植物吸收钾的速度要比吸收钙和镁快。某些豆科作物吸收钙的速度与吸收钾一样快。营养阳离子被植物吸收的相互作用还受到土壤粘土组份的影响。暖热带地区土壤温度较高的以高岭土为主的红土地区，比起温带和寒冷地带土壤温度较低的蒙脱石和伊利石为主地区的过量钾抑制作物吸收钙、镁的能力要小。

在培养液中，发现硝酸离子有助于钙、钾、镁的吸收，而铵离子却抑制钙、钾、镁的吸收。在土壤中，这些关系不可能总是被显示出来，因为铵迅速地被土壤微生物转化成硝酸盐。硼在某些植物中会促进对钙的吸收。土壤中的磷酸盐有助于钼的吸收，而硫酸盐却阻碍钼的吸收。许多作物施用石灰会引起作物的缺铁失绿病。过量的有效铁会导致缺锰，而过量的锰也会引起铁不足。如果锰的供给量较低，会抑制钙的吸收。过量的磷和氮会使铁更缺乏，而大量的钾反而会缓和铁的不足。在作物产量增加或土壤条件发生变化时，就会打破原来土壤中各种较低养料量的平衡配比，而变成缺乏某种养料。例如，美国半干旱地区的土壤，采用干旱耕作常年种植小麦和玉米，不需要添加氮肥。如果采用灌溉耕作，土壤结构发生了变化，再种植玉米和甜菜，立即发生严重缺氮现象。假设低产旱地的养料是平衡的，而改为高产灌溉耕作时则不能平衡，补救的办法是施加额外的氮肥。若干年后，由于连年高产就会出现磷不足的现象，那就需再添加适量的磷。在

给土壤施一种或多种植物养料时，可能引起未施的养料更为不足。例如土壤施加氮和磷，而不施钾，使土壤缺乏有效钾的配比，高产作物生长时就会出现缺钾的症状。在潮湿热带的土壤中，几乎所有的植物养料量都低。如果只施两种或三种养料就会出现养料不平衡的状况。

许多土壤是缺乏两种或多种养料的。在这种情况下，如果单单施加一种养料是不能增加作物产量的。只有施加所有缺乏的养料，才能大幅度提高作物产量。例如，在美国衣阿华州的艾达粉砂土壤里进行种植燕麦的试验，该土壤以钙质黄土为主，土壤中缺乏氮和磷。如果只给土壤施加氮肥，那么每公顷只增产118公斤（15.7斤/亩）。如果同时施加氮、磷肥，每公顷就能增产1298公斤（172.6斤/亩）。但有时实际情况并非完全如此，如将所有的养料一起添加给土壤，其作用往往要比它们单个作用的总和要小。这就是说，在各种类型的土壤里只有进行作物的肥效试验，才能决定适合该作物和该类型土壤的施肥品种和数量。总的来说，若土壤含养料量相当少时，就会限制作物的生长；而大量地施用其它养料却不能弥补一种主要养料的不足。

（四）土壤微生物

某些土壤中含微生物相当多，其中包括啮齿动物、昆虫、蚯蚓以及绿藻、真菌和细菌等。这些微生物中一部分对作物生长有益，如固氮菌、分解有机物残渣的细菌等；另一部分对作物生长是有害的，如病菌等。化肥施于土壤中，一方面受微生物作用把无效变为有效，另一方面又会使有效养料变为易挥发或易淋洗的形态损失掉。同时，微生物还要吸收一部分营养。

三、植物、土壤、肥料三者的关系

土壤是植物生长的介质，性能好的土壤

一般含固体、水分和空气，除水稻具有特殊茎可把地面空气扩散到根部外，一般农作物的根部要求土壤有空隙供给空气。

粘土是一种活泼的带负电荷的胶体，粒子较小的约在0.001毫米以下。有机质也是胶体，其表面积大，能吸附阳离子，具有阳离子交换能力。这些被吸附的阳离子如铵（ NH_4^+ ）、钾（ K^+ ）不会被水淋洗掉。而阴离子如硝酸根（ NO_3^- ）不能被带负电荷的土壤胶体粒子所吸附，易被水淋洗掉。这种阳离子交换或吸附离子的多少，可代表土壤储存有效养料或供给植物养料量的多少。一般以每100克土吸附阳离子的毫克当量数表示。毫克当量为该离子分子量除以价数的千分之一克。例如：测得100克土钾的离子交换能力为39.1（钾的原子量除以1价）再乘以 $\frac{1}{1000}$ 即得0.039毫克当量/100克土。此数字换算为每亩斤数（按耕作层的土重为30万斤/亩计），则毫克当量乘以 $\frac{30\text{万}}{100}$ ，得出有效钾含量为117.3斤/亩，此即钾离子的交换量。沙质土一般阳离子交换量为3~6毫克当量/100克土；粉沙壤土为12~16毫克当量/100克土；粘土为28~32毫克当量/100克土，而有机土的阳离子交换量比上述几种土要高得多。

（一）土壤对植物吸收养料的影响

土壤中影响植物吸收养料的因素有：

1. 土壤空气中氧的浓度：植物根的呼吸作用能提供植物吸收养料时所需要的能量。除水生植物外，所有植物根的呼吸作用都依赖于土壤空气的供氧好坏。因此透气性不好的土壤会抑制植物吸收养料，也会影响有些养料的氧化状况。

2. 土壤温度：植物吸收养料与其根系的新陈代谢活性有关，此活性随土壤温度而变。通常为了获取最高单位面积产量，在冷性土壤中所需的养料溶液浓度要大些，磷肥更是如此。

3. 营养离子之间的反作用：正常

情况下,虽然影响吸收率的最关键因素可能是根表面的养料浓度,而离子间的反作用也是重要的。例如,土壤中的镁处于有效状态时,再施入钾肥则会发生作物产量下降的现象。这是由于钾对镁吸收的反作用引起缺镁而造成的。这种离子间反作用的例子很多,因此要注意维持土壤中正常的“养料平衡”和足够量的营养元素。

4. 有害物质:任何干扰植物新陈代谢的物质都会影响植物吸收养料。这种有害物质在酸性土壤中有高浓度锰或铝、高浓度可溶性盐类、过量硼或重金属等。土壤测试时,要经常测定这些物质是否达到有害浓度。

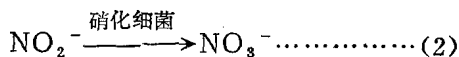
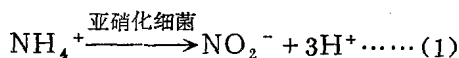
(二) 肥料与土壤的作用

1. 氮肥:

氮肥利用率一般为25~50%。含 NH_4^+ 的氮肥被带阴电荷的土壤胶体吸附,植物根分泌出酸性的氢离子(H^+)与之交换,随土壤溶液被植物根吸收作养料。但这种氮肥不是全部都被植物立刻吸收,土壤中剩余的 NH_4^+ 因微生物的作用发生下面两种变化:

(1) 硝化作用:

在温暖气候(21~35℃)及排水、透气性好和微酸性或中性的土壤中,土中的亚硝化细菌和硝化细菌会使含 NH_4^+ 的氮肥在1~2天内发生如下硝化作用:



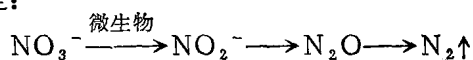
铵态氮经硝化作用后变为硝态氮,同时使土壤酸度增加。这就要求每施一斤铵态氮就需配施1.8斤的纯净石灰石来中和所产生的酸。如施用含 SO_4^{2-} 的硫酸,需要石灰石将更多些,每施一斤硫酸需配施5.3斤石灰石。因此农民在施氮肥后应根据土壤酸度的变化,施一定量的石灰石。

图5表示土壤温度对硝化作用速度的影响,从图5可以看出,秋天施铵态氮于土壤

中往往引起氮肥被淋洗掉的原因。故建议在土壤温度低于10℃、硝化作用缓慢后再施铵态氮,并且施于10厘米深土中。土壤冰冻后,硝化作用停止,就能确保铵态氮吸附于土壤胶体上,不被淋洗掉。用叠氮化钾(K-azide)及二、六氯三氯甲基吡啶(N-Serve)可抑制硝化作用。虽然现在应用这些硝化抑制剂还是很少的,但它们与新研究的缓效肥和硫衣尿素具有同样效果。

(2) 反硝化作用:

反硝化作用与硝化作用相反,其反应过程是:



当土壤空隙充满水,即在水涝(或嫌气)及土壤温暖的条件下,土壤pH高,又供给大量含氧碳化物,同时又因缺氧而存在大量反硝化微生物时,很容易产生反硝化作用,使硝态氮变为氮气损失掉。在浸水土壤中,其硝态氮约损失1/3~1/2。因此,在水稻田中不宜用含硝酸根的肥料,而只能施用于还原层中的铵态氮肥料。

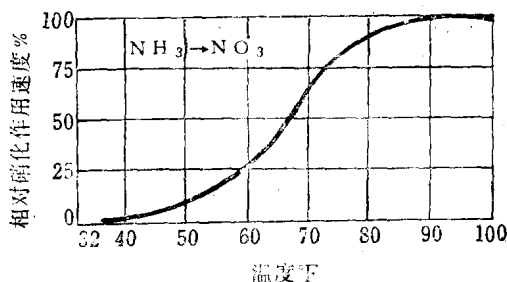


图5 土壤温度对硝化作用速度的影响

(3) 氨挥发是氮肥损失的另一个原因

液氨、氨水、碳铵土表撒施会发生挥发损失,地表温度越高则损失越大。为了减少氨挥发,切实掌握好施液氨的深度以及与植物之间的距离是很重要的,特别在轻质土上更是如此。以壤土和沙质土施液氨对比试验表明,氨在壤土中的挥发性远低于沙质土。对沙质土来说,施入深些、施肥间距小些,其氨损失可从6%减少到1%(见图6)。

尿素和硝铵在阳离子交换能力小的干、热土壤表面撒施，也有挥发损失。如果用浅施于土下的办法，可以减少挥发损失。

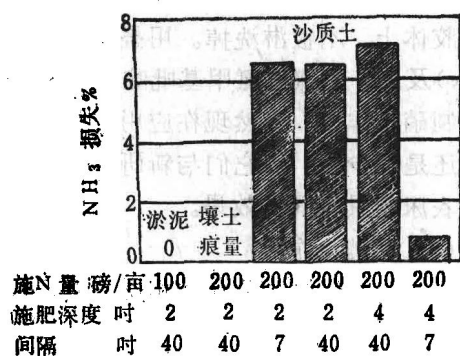


图6 两种土壤施液氨时的氨损失对比

2. 磷肥:

磷肥一般分为水溶性和枸溶性两类。水溶性的磷肥活性高，扩散（或移动）的距离短，仅2.5厘米，故土中施磷后，磷肥分布所占体积较小（见图7）。

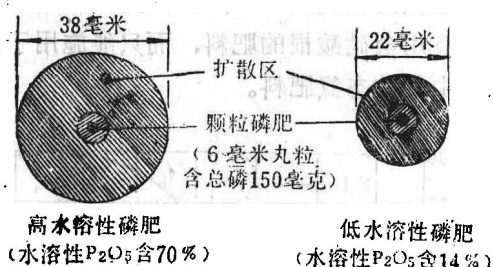


图7 磷肥的扩散距离

(1) 磷的退化:

在含钙高的土壤中，会使有效磷肥转化为磷酸三钙（类似磷矿石），有效性大大降低。

退化的磷并未损失，但效果较缓慢，土壤中的这类磷可用酸提取剂化验出来。因此对石灰质土壤需采用特殊的土壤测试方法，一般用碳酸氢钠法。

(2) 固定:

在酸性土壤中磷被铁和铝固定，其机理较复杂。被固定的水溶性或枸溶性磷肥变为不溶的沉淀物而失去被植物吸收的能力，使有效磷变为无效。施石灰石或腐植质是减少

这种固定的最好方法之一。石灰石产生的OH⁻将磷酸根离子从固定的地方置换出来，使磷进入土壤溶液中成为有效养料。腐植酸类物质具有吸附铝、铁的作用，故能减少有效磷被铝、铁固定为无效磷的数量。

(3) 粘土反应:

粘土反应是另一种固定磷的方式，同样会降低作物吸收磷的效率（磷的利用率仅为15~30%）。

3. 钾肥

钾与磷不同，在土中不会发生化合反应。K⁺与NH₄⁺一样能被吸附在土壤胶体表面而不易被淋洗掉，交换到土壤溶液后才可被植物根吸收为养料，而这时的K⁺就易被淋洗掉。除交换能力低的土壤外，钾在土壤溶液中浓度较低，故损失也较少。有些粘土矿物质，可在粘土粒子晶格之间将钾物理吸附而固定，但可被阳离子（如NH₄⁺）置换出来。钾在土壤中的移动速度比氮低，比磷高。它们的移动速度对比关系为N:P:K=10:1:3。因钾在土壤中浓度很低，故在土壤中的溶淋损失并不高。

4. 硫肥:

硫肥在很多方面与氮肥相似，它常常是有机物的一部分，由微生物作用后变为阴离子SO₄²⁻，这时极易淋失。通常说的硫肥的矿化作用，就是有机硫经微生物作用转化为无机硫，此时植物就能吸收。此外，硫肥在土壤中的微生物作用下，也会发生下面两种变化:

(1) 磺化:

磺化与硝化一样，土壤中的微生物将硫或硫化物氧化为亚硫酸根或硫酸根。当土壤含氧多、温度高、有足够水和微生物时，该反应进行得很快。这就是碱性土中施用硫肥时酸度增加的原因。

(2) 反磺化:

反磺化与反硝化一样，在水涝土中，土

壤含氧少、土温暖、作物残体中具有丰富的能氧化的碳，同时又有很多微生物时，很容易产生反磺化反应。反磺化产生的硫化氢气体易从土壤中挥发掉，此 H_2S 对很多作物有毒害。

5. 钙肥与镁肥

钙肥和镁肥与铵和钾肥一样，吸附在土壤胶体上，可被交换到土壤溶液中而被植物吸收。

第二章 测土施肥技术

自从农业化学家李比西提出养料最小因子律以来，人们对植物赖以生长的土壤养份供给状况和补充肥料开始予以关注，发展了把土壤科学、农业化学、植物营养生理学和农艺学等结合的一种边缘学科——测土施肥技术。从四十年代到六十年代欧美各国（尤以美、英、荷较发达）及六十年代到七十年代的苏联、东欧、日本、印度、大洋洲等不断地研究开发，并迅速、广泛地应用这门技术。测土施肥的最大好处是指导农民合理应用化肥和土壤改良剂（石灰石和石膏），使农民得以增产增收。由于土壤中蕴有的有效养料量不是决定作物产量的唯一因素，而是由诸如土类、气候（温度、降雨量）、灌溉条件和作物品种等多种因素决定的，所以不能仅用土壤测试一个相对数据来预测肥料用量和养料配比，必须进行田间试验，寻求土壤测试值、施肥量和作物产量的关系以及有关的参数。这项工作必须由科研人员根据专门的技术通过田间试验而取得。所以测土施肥必须以科研工作为基础。目前，在这一领域中，我国与美国相比有以下差距：

1. 测土施肥技术的应用处于起步阶段。

自1950年以来，美国几乎所有农户或耕地都是依靠土壤测试实验室为其进行农化服务，并由化肥公司或零售商附设的混（复）合肥料二次加工厂按照实验室所推荐的肥料配方进行散装掺混为固体混肥或液体肥料供给农民，使农民获得增产增收。在我国只有少数地区或个别农场开展该项工作。

2. 土壤测试实验室（或农化服务中心）的建设及能力尚欠理想

美国每个土壤测试实验室至少每年为农

民分析土样 3 万个，从制备样品（风干、磨样）到提取、分析以至洗涤仪器全部自动化或半自动化。仪器设备从价值昂贵的电感耦合等离子分光光度计到较便宜的便携式微型测土实验仪器。我国目前采用的土壤测试方法虽与美国相同，但自动化程度差，工作效率很低，每个农化服务中心每年仅能接受土样 1000 个左右。因为土样测试分析是集中于作物种植前一个月之内，推荐肥料却有农时要求，时间性极强，土壤测试实验室的分析能力和速度必须适应农作物的种植时间和满足样品数目的要求。因此，美国为寻找与作物产量相关的分析方法进行了四十余年的研究开发，为提高测试速度，对分析仪器及设备进行了几十年的改进。我们只是引用美国早期研究的土测方法，却未注意美国在这方面的改进和发展。这对仅进行田间肥效试验的科研单位来说还不具备足够条件，要想全国变成生产力，在经济上也难以建立众多的农化服务实验室。就以印度为例，全国已有土壤测试实验室 300 多个，每个实验室年分析土样从 3000 个到 3 万个，一年共分析 400 多万个土样，这样的规模也只能为全国耕地面积的一半进行农化服务。所以要普遍实现测土施肥为农化服务，关键在于要大大提高测试效率。

3. 测土施肥技术的科研工作落后

（1）美国农业化学家、土壤学家为了寻找与植物在整个生长期从土壤吸收养料具有相关性的土壤提取液进行了数十年的研究，近年来又成功地从应用多年的几十种土壤提取液筛选出几种作为通用标准方法（见本书第三章）。我国基本上采用美国的测试方法，这些提取液对我国各种土壤应用时是否

都适用？都具有相关性？迄今还需较多甄别和筛选。

(2) 美国伊利诺州立大学的派克、北卡罗林那州立大学和磷钾研究所的费兹、尼尔逊及卡罗拉多州立大学的司坦保尔、俄亥俄大学麦克林等所研究的土壤测试与产量和施肥量三者之间的关系式（或效应曲线图）及式中的有关参数，已把本州的主要作物和土类的参数全部经田间试验求得。有的已编成计算机程序，从而可因作物、因土壤立刻输出施肥量的数据。

我国从事土壤肥力分级法（土壤养料丰缺指标）和目标产量法的研究，已对个别作物（小麦）和个别土类（见附录4）取得了基本数据，但还需进一步为众多的作物和土类作出更大的范围（如县级、省级）的推荐施肥技术和建立计算机程序进行探索和研究。

为了供我国测土施肥科研单位和农化服务单位参考，根据国内外大量文献调研，将这一学科的主要技术综述于下。

一、测土施肥的原理及其重要性

第一章已提到植物需要养料约有17种，其中碳、氢、氧来自空气和水，其余14种来自土壤本身和人工施加的肥料（包括化肥和有机肥），而且各种养料不能互相代替。植物根和叶均能吸取养料，对根来说，这些养料必须存在于土壤液溶中或吸附于带负电荷的胶体土粒表面，呈水溶性的阴、阳离子可交换态或弱酸可溶的枸橼态（因它可被根分泌的弱酸所溶解，从而能被植物吸收利用）。有机态养料或不溶性无机矿物质，只有经受土壤微生物作用或风化作用，才会缓慢分解变为可供植物吸收的养料。上述这些养料均称为有效养料，土壤测试就是查明土壤中这些有效养料的数值。

据李比西最小因子律，植物的生长和最

终产量受供给最短缺的那个养料所限制（如图1的木桶所示）。木桶的每个木条代表一种养料，木桶盛水量代表作物产量。木桶盛水量受最短的那个木条（如图中的磷）所限制，如果补充磷肥使该木条达到足够长，那么产量受第二短缺的那个木条（如图中的氮）所限制，只有再补充氮使该木条达足够长，则产量可达最高水平。米氏从大量肥效试验画出相对产量百分数（占最高产量的百分数）与土壤提供养料水平之间的关系曲线，得出如图2所示米氏曲线，这是一条指数方程曲线 $y = A(1 - 10^{-cx})$ ，取对数得：

$$\log(A - y) = \log A - cx$$

式中A为最高产量的百分数即(100%)，y为土壤供养料为x时的相对产量百分数。上式以后被美国布瑞(Bray)改进。因为米氏当时认为常数c不管什么作物和养料均是恒定的，而布瑞经肥效试验及对不同作物不同养料实测，结果得出了c值随作物和养料而异的新见解。

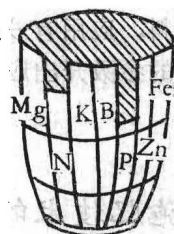


图1 比喻最小因子律的木桶示意图

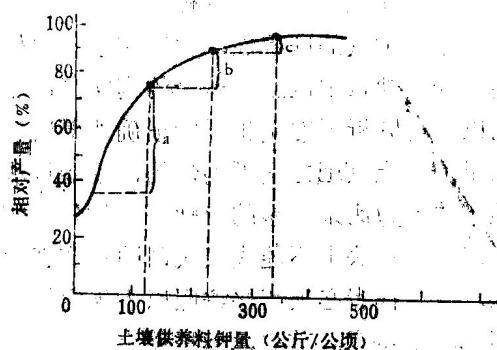


图2 米氏曲线和报酬递减律示意图

美国利用米氏—布瑞公式及所测的常数c计算磷、钾等养料量已有40年历史。从图