

有机肥和生物菌剂在 我国农业生产中的作用及地位

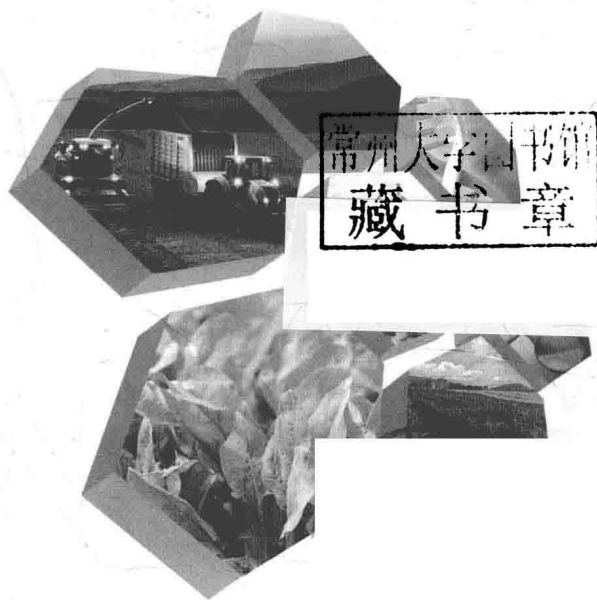
李玉振 等 主编



中国农业科学技术出版社

有机肥和生物菌剂在 我国农业生产中的作用及地位

李玉振 等 主编



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

有机肥和生物菌剂在我国农业生产中的作用及地位 / 李玉振等主编.
—北京: 中国农业科学技术出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-5116-3321-7

I. ①有… II. ①李… III. ①有机肥料-作用-农业生产-研究-中国
IV. ①F32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 262001 号

责任编辑 白姗姗

责任校对 贾海霞

出版者 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82106638 (编辑室) (010) 82109702 (发行部)
(010) 82109709 (读者服务部)

传 真 (010) 82106650

网 址 [http://www. castp. cn](http://www.castp.cn)

经销者 各地新华书店

印刷者 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 850mm×1 168mm 1/32

印 张 4. 125

字 数 103 千字

版 次 2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷

定 价 25. 00 元

— 版权所有 · 翻印必究 —

《有机肥和生物菌剂在我国 农业生产中的作用及地位》

编 委 会

主 任：李玉振

副 主 任：邓彦鹏 马同伟 耿德秋 吕英华 刘克桐
李 平 段宵燕

主 编：李玉振 李占行 邵凤雷 赵彦卿 张秋兰
杨兆波

副 主 编：赵 满 王玲欣 李 腾 王 玲 刘 伟
谢 红 赵 立 刘立朝 夏春婷

参编人员：寇小尊 史秀捧 杨春鹏 李金位 高 峰
郭兰英 何 叶 井润梓 张二朝 谢保印
孟宪杰 王丽川 周 芳 周 鹏 冯 佩
王庆节 陈运超 马善峰 王玉新 李 琴
韩 晓 马花苗 林朝中 戴佩宏 张庆聚
王书荣 李保深 刘建普 田 蜜 李 丹
任 倩 吴 赛 刘 云 张 燕 许建德
赵 炯 韩建考 冯宝俭 赵国栋 任惠卿
杨 盼

编 审：段玲玲 郜彦忠 王贺军 杨瑞让

前 言

肥料包括有机肥料和无机肥料，是重要的农业生产资料。我国有机肥料使用有 5 000 年的历史，为人类积累了宝贵的知识和经验。近代无机肥料的推广和使用，有力推动了我国农业的发展，对提高农作物产量发挥了重要作用。

当前，随着作物产量的提高，化肥用量亦不断增大。有机肥用量减少，盲目、过量使用无机肥料带来了土壤板结、酸化、盐分积累，地下水硝酸盐超标，水体富氧化，“粮不香、瓜不甜、菜无味”等种种危害正逐渐显现，对食品安全和农业可持续发展带来了潜在威胁。因此，从 2016 年我国提出了“科学施肥、控量增效、高效环保、生态施肥”的理念。在全国开展了“化肥使用零增长行动”“果菜茶有机肥替代化肥行动”，即在平衡施肥的基础上，控制无机肥料使用量的增长，增施有机肥、菌肥等新型肥料，抑制土壤恶化，使我国农业再上一个新台阶，农产品达到绿色、优质、再高产，在小康路上再创新的举世瞩目的奇迹。

由于编者知识水平有限，书中难免出现不妥之处，敬请批评指正。

编 者

2017 年 9 月

目 录

第一章 作物的营养成分	(1)
第一节 土壤中的营养元素	(1)
一、土壤	(1)
二、植物如何吸收养分	(5)
第二节 作物生长所需的营养元素	(9)
第三节 肥料在我国的发展历程	(14)
一、我国肥料种类发展概况	(14)
二、我国肥料用量发展概况	(21)
三、化肥在农业生产中积极作用	(22)
四、有机肥料在农业生产中的作用	(23)
第二章 有机质与有机肥料	(25)
第一节 什么是有机质	(25)
一、土壤有机质	(26)
二、有机肥料中有机质	(28)
第二节 有机质的养分含量	(28)
一、土壤有机质的养分含量	(28)
二、粪液中有机质的养分含量	(31)
三、有机肥中有机质的养分含量	(31)
第三节 有机肥料的种类	(32)

一、有机肥料划分的依据	(32)
二、有机肥料的种类	(32)
第三章 有机肥料和无机肥料的相互作用	(38)
第一节 有机肥料的特点	(38)
一、粪尿肥	(38)
二、堆肥及沤肥	(41)
三、绿肥	(45)
四、泥炭及腐殖酸类肥料	(47)
五、废弃物利用	(49)
六、商品有机肥料	(52)
第二节 无机肥料的种类和特点	(52)
一、无机肥料的种类	(53)
二、无机肥料的特点	(67)
第三节 有机肥料和无机肥料的相互作用	(76)
一、有机肥料和无机肥料特性	(76)
二、有机肥料和无机肥料的协同效应	(77)
三、试验验证	(78)
四、有机肥料和无机肥料配合施用的原则及 适宜比例	(94)
五、有机肥料和无机肥料配合施用的发展方向—— 有机无机复混肥	(95)
第四章 生物菌剂	(98)
第一节 目前农业生产常见的菌剂品种	(98)
一、微生物菌剂的种类	(98)
二、农业生产中常用菌剂及作用	(102)

第二节 生物菌剂在生产中的作用	(111)
一、生物菌剂的作用	(111)
二、生物菌剂的局限性	(114)
第三节 有机肥和生物菌剂在目前生产中的 作用和地位	(115)
一、有机肥生物菌剂的作用与选择	(116)
二、生物有机肥料的功能特点	(118)
参考文献	(122)

第一章 作物的营养成分

第一节 土壤中的营养元素

一、土壤

土壤就是岩石圈最外面一层的疏松部分，其最显著的特征，一是它能够提供植物生长所需的营养条件（水分和养分）和环境条件（温度和透气）；二是其内部有生物栖息。由于具备这些特征，土壤圈表现出其他环境系统不可替代的功能：联系有机界和无机界的中心环节（通过植物的光合作用）和同化外界输入的其他物质（有机化合物），是整个生物圈极为重要的组成部分。土壤圈是与人类关系最密切的环境要素之一，同时也是人类社会赖以生存的重要自然资源。

1. 土壤的组成

土壤是矿物质、有机质和活的有机体以及水分和空气等的混合物。按重量计，矿物质占到固相部分（土壤干重）的 90%~95% 或更多，有机质占 1%~10%，可见土壤成分以矿物质为主。土壤有机质就是土壤中以各种形态存在的有机化合物。除此之外还有土壤溶液，它是土壤水分及其所含的溶解物质和悬浮物质的总称。土壤溶液是植物和微生物从土壤中吸收营养物的媒介，也是污染物在土壤中迁移的主要途径。

2. 土壤质地

土壤中的固体颗粒的粒度级配或粒度组合称为土壤的机械组成，又称土壤质地。根据土壤的机械组成可对土壤进行分类。我国的土壤质地分类为沙土、壤土和黏土 3 个级别。土壤的质地是影响土壤肥力高低、可耕性好坏以及污染物容量大小的基本因素之一。

3. 土壤中植物生长发育所必需的化学元素

一般包括氮 (N)、磷 (P)、钾 (K)、钙 (Ca)、镁 (Mg)、硫 (S)、铁 (Fe)、铜 (Cu)、硼 (B)、锌 (Zn)、钼 (Mo)、硒 (Se)、锰 (Mn)、碘 (I)、氯 (Cl) 等元素。O、C 和 H 虽然也是植物生长发育所需的养分，但它们主要由空气供给，故不作为土壤营养元素。钠 (Na)、硅 (Si)、钴 (Co)、钛 (Ti) 等为某些植物生长发育所必需，它们也是土壤营养元素。

根据植物对不同营养元素吸收量的差异，可将它们划归为大量营养元素，包括氮、磷、钾；中量营养元素，包括钙、镁、硫等；以及微量营养元素，包括铁、锰、硼、锌、铜、钼、氯等。

营养元素在土壤中的存在状态决定其对植物的有效性，一般说只有离子态的营养元素才能被植物吸收利用。

目前已被公认的植物必需的营养元素有 16 种，我们将它们分为大量元素、中量元素和微量元素。大量元素中的碳 (C)、氢 (H)、氧 (O) 可以从大气和水中得到，一般情况下不需要人为补充，氮 (N)、磷 (P)、钾 (K) 由于作物需要量很大，而一般土壤中能够供应的数量却较少，必须通过施肥补充才能满足作物生长需要，因此我们称为肥料三要素。

中量元素包括钙 (Ca)、镁 (Mg)、硫 (S) 三种，作物必须从土壤中吸收，一般土壤中这三种元素含量较为丰富，不需人工补充。

还有一类元素叫作微量元素，包括铁（Fe）、铜（Cu）、锰（Mn）、钼（Mo）、锌（Zn）、硼（B）、氯（Cl）因为植物对它们的需要量非常少。尽管需要量少，但由于土壤中这些元素含量也少，所以有时也需要进行施肥补充才能满足作物需要。

4. 影响植物吸收土壤中元素因素

（1）干旱。无水时元素不能成为溶解态或离子态，根无法吸收。所以缺素症多出现在干旱年份或干旱季节。

（2）土壤反应（pH 值）不适。土壤反应强烈影响营养元素的溶解度，即有效性。有些元素在酸性条件下容易溶解，有效性高，反应趋向中性或碱性时溶解度——有效性降低。另外一些元素则与此相反，在碱性条件下有效性高而酸性条件下有效性低。与反应关系特别密切的是微量元素。氮的最适 pH 值为 6~8。磷的最适 pH 值为 6.5~7.5 或 8.5 以上。钾的最适 pH 值为 6~7.5。硫的最适 pH 值要在 6 以上向碱的方向。钙的最适 pH 值为 6.5~8.5。镁的最适 pH 值为 6.5~8.5。铁的最适 pH 值要在 6.5 以下向酸的方向。硼的最适 pH 值为 5~7。锰的最适 pH 值为 5~6.5。锌、铜的最适 pH 值为 5~7。钼的最适 pH 值要在 6 以上向碱的方向。

（3）吸附固定。即营养元素被无机物或有机物所吸附固定，而不能为根系吸收。各元素的吸附固定与土壤或成土母质有密切关系。

（4）元素间的不协调。

①氮：吸收硝态氮要比吸收氨态氮难；施用过量的钾和磷都影响对氮的吸收；缺硼不利于氮的吸收。

②磷：增加锌可减少对磷的吸收；多氮不利于磷的吸收；铁对磷的吸收也有拮抗作用；增施石灰可使磷成为不可给态；镁可促进磷的吸收。

③钾：增加硼促进对钾的吸收，锌可减少对钾的吸收；多氮

不利于钾的吸收；钙、镁对钾的吸收有拮抗作用。

(5) 土壤理化性质的不良。土壤僵韧坚实，底层有硬盘、漂白层、地下水位高等都会限制根系的伸展，减少作物对养分的吸收，加剧或引发缺素症。不合理的土地平整使土性恶劣养分贫瘠的底土上升也常成为缺素的原因。

(6) 矿质化作用。动植物体的有机物分解成无机物，其中微生物是分解菌的主角，分解后的产物提供植物养分吸收。矿质化作用是主要持续供应土壤肥力及氮素铵所需的过程。有机质含量越高，矿质化作用越明显，因此，土壤有机质是重要的土壤肥力指标，矿质化的微生物成为自然界不可缺的清道夫。

(7) 固氮作用。空气中含有大量氮元素，植物不能利用，只有微生物能有固定氮元素的功能，增加土壤氮源，土壤本身含氮甚少，而今，存在自然界的生物性氮，或在土壤中的氮肥，固氮微生物的居功不少。固氮微生物包括非共生、协生及共生三大类，都是原核微生物即无细胞核微生物，如细菌、放线菌及蓝绿藻类，自古以来，在土壤中默默耕耘着，其中以单位面积计算固氮量，从以共生固氮的能力最高。因此，未来固氮微生物的利用及发展尤为重要。

(8) 硝化作用。有机氮经过矿质化作用形成铵态，或使用尿素分解也成铵态氮，这些土壤中的铵态氮会被硝化菌利用，转化为亚硝酸态最后转化成硝酸态氮，这种转化作用称为硝化作用。植物利用氮素形态的嗜好性或多或少有差异，一般而言，硝态氮是广泛地被喜爱接受。如铵态或亚硝态累聚浓度过高，将造成植物中毒现象，因此，硝化作用的微生物不可忽视。但因硝态氮甚易淋洗及脱氮，在雨水多的地方与季节，流失硝态氮是严重的问题，硝化抑制剂的发展也是为了弥补这一缺点。硝化菌喜通气良好，在氧气充足下进行硝化作用，在氧气缺乏时，硝化作用即难进行。

(9) 脱氮作用。土壤通气排水不良时,脱氮微生物利用硝态氮转化成气态氮而挥失,从氮肥利用上视为氮肥的浪费,因此,水田撒尿素时,部分尿素先经表而氧化层转化为硝态,硝态深入下层的还原层,将造成脱氮作用的浪费现象,因此,尿素或铵态氮肥需要深施,对氮肥保持很有益助,可减少脱氮作用发生,大颗粒肥料的目的也即在使肥料深施,尤其在水田更易下沉到达还原层,减少脱氮,并且有发展大颗粒缓效性的肥料,达到一举两得的功效。

(10) 氮不移动现象。氮不移动现象包括氮固定及微生物吸收的固定作用,有些土壤对铵态氮固定较强,使氮不易流失。微生物大量繁殖时,尤其是未腐熟有机肥料施入土壤后的初期,将氮元素大量吸收利用,如果作物也正需要氮肥,就发生了氮素竞争作用,使作物缺氮,发生叶黄化现象,因此,有机肥料应在作物未大量需要氮素前施用,如果园常在春天前施用有机肥料,以免发生氮元素竞争现象。以上氮素转化现象中,可以很明显看出土壤微生物与氮肥密不可分,土壤管理好,利用土壤微生物的能力,使氮肥减少浪费,达到经济效益,也是精致农业的目标之一。

二、植物如何吸收养分

植物生长发育必需供给 16 种化学元素,否则植物就不能维持生命。最早发现的 10 种必需元素是碳 (C)、氢 (H)、氧 (O)、氮 (N)、磷 (P)、钾 (K)、钙 (Ca)、镁 (Mg)、硫 (S)、铁 (Fe)。后来由于科学实验方法的不断改进,所使用的试剂纯度和培养器皿质量的提高,减少了杂质混入营养溶液的可能性,人们发现要使植物正常生长发育,除以上 10 种元素外,还应包括硼 (B)、锰 (Mn)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、钼 (Mo) 以及氯 (Cl) 这 6 种化学元素。所有这 16 种化学元素就称为必

需营养元素。

碳 (C)、氢 (H)、氧 (O) 存在于大气和水中, 它们被用于光合作用。光合作用产生各种有机物, 它在植物体中占大多数。二氧化碳、水或光不足都会降低作物的生长。

1. 植物根系吸收养分

植物所获得的养分大部分是通过根系的吸收获得的, 根部营养使作物获得高产的前提与保证。

(1) 根部吸收养分的过程。

①通过交换吸附将离子吸附在根部细胞表面, 所谓交换吸附是指根部细胞表面的正负离子 (主要是细胞呼吸形成的 CO_2 和 H_2O 生成 H_2CO_3 再解离出的 H^+ 和 HCO_3^-) 与土壤中的正负离子进行交换, 从而将土壤中的离子吸附到根部细胞表面的过程。

②离子进入根部内部: 通过质外体途径进入根部内部, 质外体是指植物体内由细胞壁、细胞间隙、导管等所构成的允许矿物质、水分和气体自由扩散的非细胞质开放性连续体系。

③离子经质外体运送至内皮层时, 由于有凯氏带的存在, 离子 (和水分) 最终必须经共质体途径才能到达根部内部或导管。这使得根系能够通过共质体的主动转运及对离子的选择性吸收控制离子的运转, 共质体是指植物体内细胞原生质体通过胞间连丝和内质网等膜系统相联而成的连续体, 溶质经共质体的运输以主动运输为主。

④离子进入导管: 离子经共质体途径最终从导管周围的薄壁细胞进入导管。

(2) 影响植物根系吸收矿质元素的因素。

①土壤温度: 土壤温度过高或过低, 都会使根系吸收矿物质的速率下降。高温 (如超过 40°C) 使酶钝化, 影响根部代谢, 也使细胞透性加大而引起矿物质被动外流。温度过低, 代谢减弱, 主动吸收慢, 细胞质黏性也增大, 离子进入困难。同时, 土

壤中离子扩散速率降低。

②土壤通气状况：根部吸收矿物质与呼吸作用密切相关。土壤通气好，增强呼吸作用和 ATP 的供应，促进根系对矿物质的吸收。

③土壤溶液的浓度：土壤溶液的浓度在一定范围内增大时，根部吸收离子的量也随之增加。但当土壤浓度高出此范围时，根部吸收离子的速率就不再与土壤浓度有密切关系。此乃根细胞膜上的传递蛋白数量有限所致。而且，土壤溶液浓度过高，土壤水势降低，还可能造成根系吸水困难。因此，农业生产上不宜一次施用化肥过多，否则，不仅造成浪费，还会导致“烧苗”发生。

④土壤溶液的 pH 值：直接影响根系的生长。大多数植物的根系在微酸性（pH 值 5.5~6.5）的环境中生长良好，也有些植物（如甘蔗、甜菜等）的根系适于在较为碱性的环境中生长。影响土壤微生物的活动而间接影响根系对矿质的吸收。当土壤偏酸（pH 值较低）时，根瘤菌会死亡，固氮菌失去固氮能力。当土壤偏碱（pH 值较高）时，反硝化细菌等对农业有害的细菌发育良好，这些都会对植物的氮素营养产生不利影响。影响土壤中矿质的可利用性。土壤溶液中的 pH 值较低时有利于岩石的风化和 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mn^{2+} 等的释放，也有利于碳酸盐、磷酸盐、硫酸盐等的溶解，从而有利于根系对这些矿物质的吸收。但 pH 值较低时，易引起磷、钾、钙、镁等的淋失；同时引起铝、铁、锰等的溶解度增大，而造成毒害。相反，当土壤溶液中 pH 值增高时，铁、磷、钙、镁、铜、锌等会形成不溶物，有效性降低。

⑤土壤水分含量：土壤中水分的多少影响土壤的通气状况、土壤温度、土壤 pH 值等，从而影响到根系对矿物质的吸收。

⑥土壤颗粒对离子的吸附：土壤颗粒表面一般都带有负电荷，易吸附阳离子。

⑦土壤微生物：菌根的形成可增强根系对矿物质和水的吸

收。固氮菌、根瘤菌等有固氮能力。而反硝化细菌则引起 NO_3^- —N 损失。

⑧土壤中离子间的相互作用：溶液中某一离子的存在会影响另一离子的吸收。例如，溴的存在会使氯的吸收减少；钾、铷和铯三者之间互相竞争。

2. 植物叶片吸收养分

(1) 叶面营养是植物根外营养的重要途径，叶面施肥可以补充植物后期由于土壤中吸收养分不足而带来的养分亏缺，保证作物的增产；可在植物根系受到严重影响时，及时弥补作物所遭受到的损失，如磷、锌、硼、铁等易被土壤固定而使植物难以利用的养分通过叶面施用可以为植物较快吸收，发挥更好的增产效果；叶面肥可以在作物不同生长阶段、温度和高度下进行，有利于集约农业的大规模机械化施肥操作。

(2) 植物对养分的吸收具有选择性和适应性，在植物整个营养期中有两个关键时期，即植物营养临界期和植物营养最大效率期。在植物营养临界期，植物对某种养分要求很迫切，该养分过多或过少都可能影响植物的生长发育，于后期难以纠正或弥补。在植物营养最大效率期，植物生长迅速，吸收养分能力特别强，及时满足植物养分需要，对提高产量有明显的效果，植物除了能够由根部从土壤中吸收养分外，叶面营养又是一种重要的养分吸收途径。

(3) 叶子能直接吸收和利用有效养分，对养分的利用率较高，并可防止或避免由于土壤对有效养分的固定而降低其有效性。因此，植物叶面喷施肥料，特别是某些容易被土壤固定的元素如磷、铜、锰、铁、锌等，具有营养效果好的特点。叶面对养分吸收、运转比根快，有利于及时满足作物生长发育的要求。一般尿素施在土壤中 4~5 天后才有效果，采用叶面喷施。

第二节 作物生长所需的营养元素

100 多年的科学研究表明,按作物需要量多少分为大量元素、中量元素和微量元素,如碳、氢、氧、氮、磷、钾为大量元素,钙、镁、硫为中量元素,锌、锰、硼、铁、铜、钼、氯为微量元素。作物生长发育离开上述 16 种元素就不能正常进行,所以它们称为作物必须的营养元素。

1. 氮的生理功能

氮是蛋白质和核酸的组成成分,蛋白质平均含 N 量为 16%~18%,核酸中含 N 15%~16%,核酸与蛋白质构成核蛋白,共同影响植物生理活动和生长发育。氮是叶绿素的组成成分,作物缺 N,叶绿素减少,光合作用减弱。植物体内一些维生素,如维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₆ 等都含有氮素,生物碱如烟碱、茶碱等也含有氮素,它们参与多种生物转化过程。

缺氮:缺氮时,作物蛋白质、叶绿素、生物碱合成受到抑制,使作物生长减缓,叶片细小直立,叶色淡绿,植株生长矮小,茎秆细长,分枝分蘖少,花果少且容易脱落,植株提前成熟。因氮素化合物在植株体内移动性大,并可重复利用,有从老叶向新叶流动的特性,所以缺氮时先从老叶开始。某些作物如番茄、架豆表现症状为叶脉和叶柄上呈现深紫色,苹果缺氮时,老叶枯黄或变紫,叶脉和叶柄呈现红色,叶片提早脱落。氮素过多时易促进植株体内蛋白质和叶绿素大量形成,造成茎叶徒长,影响通风透光,茎秆软弱,抗病虫抗倒伏能力差延迟成熟,品质变差。

氮过剩:如果氮素过剩,因物质营养失调也会出现不良症状,氮素过多时,植物枝叶茂盛,通风透光不良,体内碳水化合物消耗过多时,使茎秆细弱,容易倒伏;再就是体内可溶性含氮