

作物优质高产的 施肥技术

史瑞和 杨建海 张春兰 编著



化学工业出版社

作物优质高产的施肥技术

史瑞和 杨延海 张春兰 编著

化学工业出版社

(京)新登字039号

作物优质高产的施肥技术

史瑞和 杨建海 张春兰 编著

责任编辑: 陈大英

封面设计: 任 辉

*

化学工业出版社出版发行

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

化学工业出版社印刷厂装订

新华书店北京发行所经销

*

开本787×1092¹/₃₂印张6 字数136千字

1992年5月第1版 1992年5月北京第1次印刷

印 数 1—2,450

ISBN 7-5025-0978-X/TQ·573

定 价4.40元

内 容 提 要

本书较详细地介绍了作物高产施肥的科学理论依据，把土壤的养分供应、作物对养分的需要以及肥料的种类和性质三者有机地结合起来探讨，并具体地给出了各类作物包括禾谷类作物、根类作物、豆科作物、油料作物、饲料作物、棉花、烟草、果树和蔬菜等的施肥技术，理论联系实际，把植物营养学科研究的新成果用于生产实际。论点明确，资料充实，适用于基层农技人员和专科农业学校师生的需要。作者在论述植物营养和作物施肥时，对我国农业的发展也提出了一些新的见解，可以作为各地区农业部门领导的参考。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 作物的生长发育	3
第三节 作物的潜在产量和实际产量	20
第二章 科学施肥的依据	41
第一节 土壤的养分供应	42
第二节 作物对养分的需求	53
第三节 肥料的种类和性质	59
第四节 测土施肥	64
第五节 配方施肥	69
第六节 微电脑在科学施肥中的应用	73
附：程序清单——多元二次多项式通用程序	95
第三章 各类作物的施肥	100
第一节 禾谷类作物	105
第二节 根类作物	121
第三节 豆科作物	131
第四节 油料作物	140
第五节 饲料作物	146
第六节 棉花	154
第七节 烟草	159
第八节 果树	164
第九节 蔬菜	173
●参考文献	185

第一章 绪 论

第一节 概 述

农业是动植物再生产的科学，是生物体、环境因素和人类生产劳动的结合，是光能转变为化学能，无机物转变为有机物的过程。

“种田如绣花”，说明种田也是一种艺术，例如栽秧能手，不仅栽得快，而且栽得匀，栽得深浅一致；用锄头除草也有很高的艺术，一不小心，连苗也会被除掉。劳动人民在长期生产实践中练得一双巧手，巧夺天工，能在大自然界绣出美丽的鲜花。但要区别科学和艺术，要正确对待传统农业和现代农业。经验是可贵的，但不能要求人人都有一样的艺术水平。科学则不同，它要求人人能掌握，人人能做到。我国农业正由传统农业向现代农业过渡，“科技兴农”就是要加快这个进程，从各个方面提高土地生产率，劳动生产率和农产品的商品率。现代农业就是以现代化的装备，现代化的科学技术和现代化的科学管理武装的，既要有合理的农业结构和良好的生态环境，又要有各种科学技术措施，以期获得作物的高产优质。

“科技兴农”，把科技成果转变为生产力，任务艰巨。我国中低产田面积很大，粮食平均产量不高。水利建设成绩很大，但水的利用率不高，只有30%左右，大部分由渗漏、蒸发、大水漫灌而损失。化肥工业特别是氮肥工业发展很快，但氮肥的利用率不高，也只有30%左右，大部分由挥发、淋溶和

反硝化而损失。毛泽东同志总结的我国“农业八字宪法”——土、肥、水、种、密、保、工、管，都有科学技术问题。把科技成果转变为生产力，提高单位面积产量，潜力很大。

在农业生产中提高氮肥利用率是一个突出问题。氮素是促进作物生长、提高作物产量最重要的营养元素，但是我国氮肥利用率不高，损失很大，不仅造成浪费，而且导致环境污染，破坏养分平衡，导致土壤中有效磷、钾亏缺。

我国化肥的施用与很多发达国家不同，是从氮肥开始的。建国前后施用的化肥主要是氮肥。因此我国农民一直是化肥和氮肥不分。到60年代才开始施用磷肥，到80年代发现南方很多土壤有效钾供应不足，严重限制作物产量的提高。目前北方有些地区也有土壤缺钾的报道。很明显，单独盲目施用氮肥，必然导致土壤中磷、钾的亏缺和微量元素的不足。“测土施肥”和“配方施肥”就是在这种情况下提出来的。全国土壤普查，测定了土壤中有效磷、钾等的含量，对用好化肥起了重要的作用。近年来农民也意识到氮肥的增产效果逐渐下降，这是由于N:P:K比例不协调造成的，必须强调养分平衡供应，要注意N肥的用量和N:P:K的比例。这里还必须指出，“配方施肥”，不仅要注意N:P:K的比例，也要重视化肥和有机肥料的配合施用。农业生产中施用有机肥料已有悠久历史，是养分循环和再利用的最好方式，是生态农业和持久农业的保证。陈云同志指出：“我国农业单靠化肥是没有出路的”，强调有机肥料的重要性。我们的工作也证明，有机肥料与化肥配合施用容易获得作物高产稳产，也是提高土壤肥力特别是土壤有效磷、钾水平的有效方法。

作物高产施肥，一方面要根据土壤养分供应状况，作物对养分的需要和肥料的种类和性质；另一方面，也要注意培肥土

壤，提高肥料的利用率。

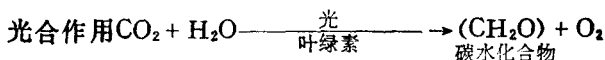
第二节 作物的生长发育

作物的生长发育受本身遗传基因和外界环境因素的控制和影响。人类根据生存的需要和环境条件，选育优良品种，改进栽培技术包括施肥技术，不断提高作物产量并改善其品质。环境条件包括气候因素和土壤条件。光、热、雨水等气候因素，目前人力还无法控制，但可以通过栽培措施改变它们的影响。土壤条件中水分和养分的供应是最活跃的两个因素。肥沃的土壤能不断供应作物生长对水分和养分的需要，科学施肥是调节土壤养分供应，以满足作物生长的需要。

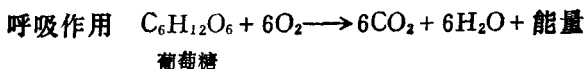
作物的生长表现在根、茎、叶的出现和增长，常常以干物质的积累表示，这是细胞分裂和扩张的结果。作物的发育是指生殖生长阶段各器官的形成，它是细胞分化的结果。

一、作物的生长

植物生长首先长出根，扎根土壤，从土壤中吸收水分和养分，然后长出绿色的叶子，从空气中摄取二氧化碳(CO_2)和光能，进行光合作用，合成光合产物。



光合作用是光能转变成化学能的过程，是光能贮存过程，一切能源物质如木柴、煤、石油等都是绿色植物或藻类将光能转变成化学能的结果。植物的一切生理活动如养分的吸收，运输和代谢均需能量供应。这些能量是由光合作用贮存，再经呼吸作用释放出来的，因此干物质的积累决定于净光合作用。



这里必须指出，植物的呼吸作用有两类：暗呼吸和光呼吸，暗呼吸系正常的呼吸作用，不论白天或黑夜，各类作物为了代谢活动的需要进行着呼吸作用。而光呼吸是在进行光合作用过程中，由于不同作物 CO_2 固定的途径不同，被固定的 CO_2 ，又有一部分被释放出来。大部分温带作物 CO_2 是由核糖磷酸固定的，生成含3个碳原子的化合物，称为C-3途径，这些作物叫做C-3作物；而某些热带、亚热带作物如玉米、高粱、甘蔗等， CO_2 与磷酸丙酮酸结合，生成含4个碳原子的化合物，称为C-4途径，这些作物叫做C-4作物。C-3作物光合作用固定的 CO_2 约有20~50%立即由光呼吸释放出来，而C-4作物则无光呼吸。因此C-4作物的净光合作用比C-3作物高得多，产量自然也较高，作物育种学家从多方面发掘和筛选C-4作物。

(一) 环境因素对作物生长的影响

1. 光强 光强、 CO_2 浓度、温度和水分是影响光合作用的环境因素。光是光合作用的动力，也是形成叶绿素的必要条件，它的强度直接制约着光合作用的强度。一般当光强增至100焦耳/(米²·秒)时，叶片的光合强度等于呼吸强度，此时的光强称为光补偿点。光补偿点表明植物对光强的最低要求。另一方面，在一定范围内，随着光强增加，光合效能提高，超过此一定范围，光强增加，光合效能却不再增加，这种现象称为光饱和现象。开始光饱和时的光强，称为光饱和点。光饱和点的高低反映着植物对光的利用能力。玉米、高粱等C-4植物的光饱和点高，利用强光的能力也高。当光强达到100焦耳/(米²·秒)时，大豆的 CO_2 同化速率即不再增加，水稻的光饱和点为300焦耳/(米²·秒)，而C-4作物玉米的光饱和点则高达400焦耳/(米²·秒)，亚热带地区夏季晴天光强可达300~400焦耳/(米²·秒)，在农业生产上应该充分利用夏季的光、热资源，发挥C-4作物

的优势。

2. CO_2 浓度 CO_2 是光合作用的主要原料，靠叶子从空气中吸收。但空气中的 CO_2 浓度很低，只有 300ppm，因此在光照充足而通风不良的情况下， CO_2 浓度往往成为限制作物生长的因素。日本学者在水稻上进行的试验，在正常空气 CO_2 浓度 300ppm 情况下，水稻的最高产量为 10 吨/公顷，当 CO_2 浓度提高到 2400ppm 时，稻谷的产量达到 19 吨/公顷，当然目前大田施用 CO_2 肥料是不经济的，也是不现实的，但是在塑料大棚生产条件下（封闭系统）， CO_2 的浓度能被提高和控制，可以大大提高番茄、黄瓜等蔬菜的产量。

随着工业的发展，空气中 CO_2 浓度逐渐增加。上世纪末，空气中 CO_2 浓度只有 280ppm，到本世纪 30 年代，增加到 300ppm，目前已达 330ppm。到本世纪末，估计可达到 350ppm。空气中 CO_2 浓度增加对光合作用是有利的，特别对 C-4 作物有利，因为 C-4 作用 CO_2 饱和点较高。空气中 CO_2 浓度增加，更有利于提高 C-4 植物的光合效能和作物产量。在我国农业生产中积极发展玉米、高粱等 C-4 作物，特别在南方，有重要意义。

3. 温度 温度对光合作用和呼吸作用均有影响，但对呼吸作用更明显，净光合作用等于零时的最高温度，称为光合作用的温度饱和点，C-4 植物的温度饱和点较高。对 C-4 植物来讲，只有在较高温度条件下，才能充分发挥它的增产潜力，玉米、高粱等 C-4 作物虽然适应种植的范围较广，但种植在温度较高的地区产量更高。

4. 水分 水分对光合作用的影响，往往被人忽视。在水分胁迫的情况下，叶子气孔的开张度减小，以减水分的蒸腾，但同时增加 CO_2 进入气腔的阻力，大大降低光合效能，水分对植物生长的影响是多方面的，待后再论。

(二) 作物的生长速率

植物各生长阶段接受的光能多少不等，叶片的光合效能亦随年龄而改变，因此植物一生的生长速率变化很大。作物的生长速率常用下列公式表示：

$$\text{作物生长速率(CGR)} = \frac{w_2 - w_1}{t_2 - t_1}$$

上式表明在二个不同时间($t_1 - t_2$)内的干物质积累($w_2 - w_1$)， w_1 是 t_1 时，叶面积系数为 L_1 时，每平方米地面产生的干物重(克)， w_2 是 t_2 时，叶面积指数为 L_2 时，每平方米地面产生的干物重(克)。

上述公式也可以净光合速率 E 表示：

$$E = \frac{2.303(\log L_2 - \log L_1)}{L_2 - L_1} \times \frac{w_2 - w_1}{t_2 - t_1}$$

作物生长的苗期，叶子还小，叶数也不多，接受的光能很少，生长缓慢。在农业生产上要及时播种，加强苗期管理促进早发。壮苗全苗是高产的基础。移栽作物防止耽苗现象，迅速提高叶面积指数，增加接受光能的时间也很重要。另外，叶子的光合效能随年龄而降低，因为老叶的叶绿素含量降低。在生产上通过施肥和调节水分供应，延长叶子的功能期，是提高作物产量的重要措施。例如在禾谷类作物生长后期追施氮肥和钾肥，可以防止叶子过早衰老，延长旗叶的功能期，提高谷粒产量。

(三) 根系的生长

植物地上部生长受根系生长的影响，“根深叶茂”，反映根系生长对茎、叶生长的促进作用。相反地，长在盆钵中的松柏，根系生长受阻，地上部也按比例缩小，反映它们相互之间的抑制作用。实际上根系生长控制着地上部的生长。发育良好

的根系是作物高产的基础，它的重要性往往被人们忽视，因为根生长在地下，不易进行观测，给对根的研究带来困难。近年来由于观测手段的改进，环境因素对根系形态变化和生理活性改变的影响，有了较深入的研究。

地上部和地下部生长的相关，常以根冠比表示。植物的茎、叶生长和根系生长均需大量的无机养分和有机养料。叶子中的光合产物输送至地下部，促进根系的生长；根系吸收的水分和养分以及合成的植物激素，输送至地上部，促进或控制地上部生长。壮苗必先壮根就是这个道理。

1. 土壤水分和通气对根系生长的影响 土壤水分状况和通气条件是影响根系生长的重要因素。一般来讲，土壤水分供应充足有利于地上部生长，土壤通气条件好能促进根系生长。当雨水多时，茎叶生长茂盛，消耗大量的光合产物，输送至地下部的光合产物相应减少，根的生长受抑制，根冠比变小；当天气干旱土壤水分供应不足时，地上部生长受阻，有较多剩余的光合产物输送至根部，有利于根的生长，根冠比变大。在水稻栽培中，常常用“烤田”的方式，以促进根系的生长，所谓“旱长根，水长苗”也就是这个道理。

植物地上部处于大气中，氧的供应比较充足，而根系长在土壤中，氧的供应受到限制。如果土壤通气良好，有利于根系生长，根冠比增大；反之，土壤通气不良，根系生长受阻，根冠比变小。所以凡能改善土壤通气状况的措施均有利于根的生长。

土壤通气不良，不仅会抑制根系的生长，而且会导致根系结构的改变。一般来讲，土壤通气良好，根系细长，扎得深，颜色浅，根毛多；而在通气不良的情况下，根系粗短，扎得浅，颜色深，根毛少，颜色深浅反映根系氧化力的大小，颜色

表 1-1 烤田对水稻根冠比的影响

落干情况	100株稻苗干重 毫克	100株根干重 毫克	根冠比
适当落干	22.7	133	5.86
未落干	95.0	20	0.21

浅根系活力旺盛。

2. 养分供应对根系生长的影响 养分供应对根系生长的影响很大(见表1-2和表1-3)。但N、P、K的作用不一样。氮素是细胞生长的重要物质,氮素供应充足显著地促进植物地上部的生长,往往由于枝叶生长过旺,消耗过多的光合产物,

表 1-2 养分供应对豌豆根冠比的影响 (Gaisler, 1966)

生长天数	处理	每株干物质, 毫克		根/全株 %
		地上部	根	
2周	养分供应充足	201	81	30
	不充足	91	79	47
4周	养分供应充足	857	258	23
	不充足	113	76	61

表 1-3 溶液中N浓度对番茄根冠比的影响

供N水平	每株干重, 克			长度, 厘米		
	地上部	根	地上部/根	地上部	根	地上部/根
N ₁	1.43	0.58	2.4	30.8	67.7	0.45
N ₂	1.60	0.62	2.6	31.1	57.3	0.54
N ₃	2.17	0.78	2.8	38.4	58.0	0.66
N ₄	2.72	0.71	3.4	42.0	55.2	0.78
N ₅	2.94	0.80	3.7	48.5	48.5	1.00

影响根系的生长，使根冠比变小。因此氮肥施得过多，常使作物生长过旺，头重脚轻，容易倒伏，降低产量。相反地，增施磷、钾肥，可以促进根系的生长，克服氮素的不良影响。磷和钾在碳水化合物的转化和运输中起重要作用，增施磷、钾肥特别是钾肥能使更多的碳水化合物向根部输送，促进根系的生长，使根冠比增大。我们的工作表明，在缺钾的土壤上，如果不施钾肥，棉花幼苗根腐病、炭疽病严重，缺苗断垄现象严重，严重影响棉花的产量。施用钾肥，苗壮苗齐，根系生长良好，为高产打下了基础。

从生产实践中观察到，施肥方法将影响根系在土壤剖面中的分布。把肥料施在不同的深度（10、15、20、30厘米），发现根总是分布在有效养分浓度高的地方。因此在干旱或半干旱地区把肥料施得深些有好处，一方面可以提高肥料的利用率，因为底土水分条件比表土好；另一方面提高作物对底土水分的利用。

3. 根系对养分的吸收能力 根系对养分的吸收能力，不同作物甚至不同品种是不同的，这对土壤中养分浓度比较低的营养元素如磷、微量元素等更为重要。在黄淮海平原，和南方丘陵红壤的开发中，均发现土壤有效磷水平很低，怎么办？一种办法是增加投入，提高土壤有效磷水平，另一种办法是筛选吸收磷能力强的作物作为“先锋作物”，减少投入，也可收到较好的效益，例如澳大利亚在开发草原过程中同样遇到土壤有效磷水平很低，他们发现黑麦草每公顷施50公斤 P_2O_5 就可以达到最高产量，而三叶草需施250公斤 P_2O_5 才能达到最高产量。作物的种类不同，根系的数量和形态不同，对磷肥的反应就不同。禾本科作物的根系多而细长，吸收表面大，而豆科作物根系少而粗，吸收表面小，吸收能力弱。

凡是影响根系生长的因子，均将影响根系对养分的吸收。例如酸性红壤 pH 低于 5.5 时将出现铝毒，抑制根系的生长，减少作物对磷等营养元素的吸收。土壤紧实，影响根的生长，也影响对磷的吸收。

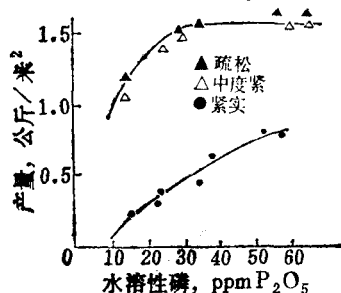


图 1-1 土壤紧实度和水溶性磷水平对甜菜产量的影响

图1-1所示，中等紧实度的土壤，当土壤水溶性磷为 20ppm 时，甜菜就已达到最高产量，磷浓度再提高，对产量已无影响；而在土壤很紧实的情况下，随着土壤水溶性磷水平的提高，甜菜产量不断提高，但是即使土壤水溶性

磷提高二三倍，达到 60ppm 时，产量仍赶不上中度紧实的土壤。我国也有某些结构不良的水稻土如蒜瓣土等，淹水耕耙后仍有僵块存在，影响水稻对磷的吸收。改善土壤的结构，可以节省磷肥的用量。

二、作物的发育

作物的发育是指一生中形态结构的变化和各种器官的形成，尤指生殖器官的形成。植物各器官的出现有主次。依从关系。各器官有特殊的生理功能，彼此之间存在着相互联系和相互制约的关系。例如根的数量和活力受到叶子光合产物供应的影响，花果的数量取决于营养体的大小等，这种相互关系是多种多样的，有的是由于有机营养物质供应与分配的结果；有的是一种器官比其它器官消耗更多的水分和矿质养分的结果；还有的是由于各种植物激素调节的结果。农业生产上常常利用水

肥管理，合理密植，整枝打顶和使用生长调节剂等措施来调节各部分之间生长上的相互关系，以达到收获器官高产优质的目的。

植物生长的苗期主要是根、茎、叶的生长，这些部分在植物学上称为营养器官，这些器官的生长称为营养生长。当植物生长到一定阶段，才开始形成花芽、开花、结果；花、果实和种子是植物的生殖器官，它们的形成和生长就叫做生殖生长，或称植物发育成熟。

禾谷类作物在生长前期营养生长占优势，当营养器官生长到一定阶段，生殖器官才逐渐形成，等到开花以后，营养器官所合成的有机养料，大部分向生殖器官输送，营养器官生长减慢，直至停止生长而衰老死亡。这类作物要达到高产，成熟阶段必须保持清秀老健，维持旗叶的功能期。

棉花、油菜、马铃薯、山芋以及多年生果树的特点是营养生长和生殖生长重叠的时间比较长，生殖器官的出现并不马上导致营养器官的衰竭。马铃薯、山芋等薯类作物，一方面形成薯块，一方面仍形成新叶，维持较高的光合效能，这类作物只要施肥得当，可以获得很高的产量。

（一）环境因素的影响

植物从营养生长向生殖生长转化是在一定的环境条件下进行的，不经过这些变化，植物就不能完成它正常的发育过程。这些环境条件就是温度、日照以及有机营养和植物激素的供应状况等。

1. 温度 温度有昼夜的变化，也有四季的变化。在植物发育过程中，低温诱导花器官的形成，是植物对温度年周期性变化的适应。根据植物对温度年周期性变化适应能力的不同，把作物分为冬性、半冬性和春性。三麦、油菜等冬性作物，在

花原基分化之前，必须经过一段时间的低温，才能形成花原基的现象叫春化作用。低温是冬性作物发育所必须的条件，低温才能诱导花器官的形成。

一般春化的温度范围为 $0\sim 15^{\circ}\text{C}$ ，并需要一定的时间，例如，冬小麦、冬油菜等冬性作物，春化温度为 $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。春性作物的春化温度较高，如春小麦为 $5\sim 15^{\circ}\text{C}$ 。我国淮河以北秋播小麦为冬性品种，淮河以南则以半冬性和春性为主，引种新品种时必须根据当地的气候条件和品种特性。

2. 日照 植物通过低温春化，诱导了花原基的形成，但花原基能否分化、开花、还与日照长短有关。一般来说，需要春化作用诱导花芽产生的植物，春化后往往需要继续经过长日照处理，才能完成花芽的分化。

植物生长的环境总是昼夜交替出现的。在一年四季中，白天和黑夜的长短总是有规律地变化着，冬天昼短夜长，夏天昼长夜短，人们早就知道许多植物的开花也有明显的季节性。为什么紫罗兰在春天开花而菊花在秋天开呢？现在才知道植物的开花与日照长短有关。植物一定要经过一定时间的昼夜长短后，才能开花，否则就不能开花结果，这种昼夜长短对植物开花的效应叫做光周期现象。

不同植物对昼夜长短的要求不同，根据植物对光周期的不同反应，可把植物分为以下三类：

(1) 长日照植物 长日照植物需要的光周期长于临界光周期，日照时间越长，开花越早，成花数越多，这类作物称为长日照植物，如冬小麦、冬油菜、甜菜等。

(2) 短日照植物 短日照植物需要的光周期短于临界光周期，日照越短，这类植物开花越早，故称短日照植物，如水稻、玉米、高粱、大豆、花生、烟草等，它们的临界光周期为