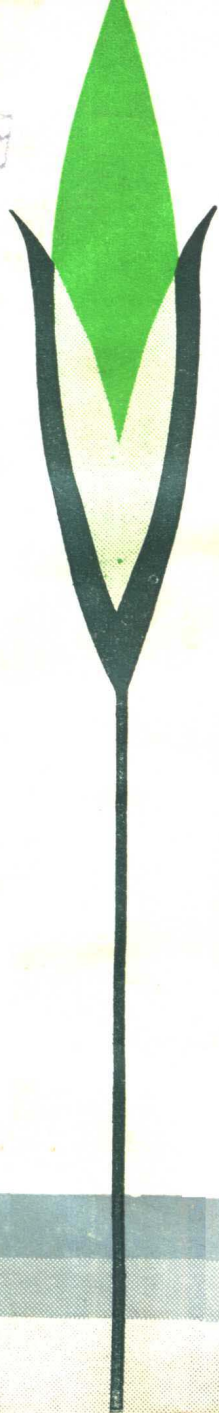


468844

赵 微 平 编



土壤和作物养分的 测定及施肥 (修订本)

土壤和作物养分的测定及施肥

(修 订 本)

赵微平 编

化学工业出版社

本书第1版于1975年8月出版,1976年3月又进行了第2次印刷。本书自1975年出版以来,受到了读者的欢迎。这次在广泛征求意见、大量收集资料的基础上,作者对原书进行了改写,补充了很多资料,数据和分析测定方法,同时还适当地加强了基础理论知识,大大丰富了原书的内容。

书中详细地讨论了土壤与作物生长的关系、作物的需肥量、营养元素(氮、磷、钾、钙、镁和微量元素等等)在土壤内的动态、作物体内的养分状况、土壤和作物养分的测定方法以及如何根据这些测定进行科学施肥等。

本书可供农业技术人员、农业院校师生、农村科研站(组)、中学农业教师参考。

土壤和作物养分的测定及施肥

(修订本)

赵微平 编

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本787·1092¹/₂ 印张5¹/₂ 字数120千字 印数1—12,210

1983年2月北京第1版 1983年2月北京第1次印刷

统一书号15063·3468 定价0.60元

前 言

作物的产量主要是通过植物的生长发育而后形成的。所以为了提高产量，首先必须充分地了解植物的需要、生活条件以及其生命活动的规律。然后最大限度地满足作物的要求，促进其生长，以达到高产的目的。一般地说，作物所需要的营养条件比较简单。只要有适当的温度、充分的阳光、空气中的二氧化碳、水分和某些无机盐，作物便能生长得很好。植物所经常接触的环境因素是相当复杂的（见表1）。

表 1 植物的环境因素

地 上 部		地 下 部
净辐射 (热 光等)	风	土壤温度
光	风速	土壤含水量
日照长度	方向	数量
光谱成分	云、雾	可利用程度
光强	降水	盐分的影响
积分(单位时间内的数量)	露、雨、雹、雪	土壤空气的成分
温度	大气成分	(特别是CO ₂ 浓度)
季节变化	CO ₂ 浓度	养分
昼夜变化	污染	各种大量和微量元素
霜冻	臭氧	的浓度和可利用程度
	湿度	土壤反应
		土壤结构

在自然界里，人类对温度、太阳光和空气条件，在经济允许的条件下，控制的能力和范围还很小。可是水和肥却是

农业生产中容易加以控制的手段。在一般栽培条件下，通过浇水或施肥，能比较有效地促进作物的生长，增加产量。也许正是由于这种缘故，所以随着水力建设事业和工业的发展，在很多地区还出现大水大肥，浪费水力资源和化学肥料的现象。不但增加了生产成本，而且使用不当还会造成减产。因此，从生产的角度来看，需要更多的人来研究浇水与施肥的问题。这是两个比较复杂的问题。因为它们不仅与各地的自然条件和环境有关，而且也与土壤的特性、水分移动和养分变动规律以及作物的生理状态有关，情况相当复杂。所以不论从任何角度考虑，对此问题都有研究的必要。作者过去出于对农业服务的心愿从一些侧面接触过这个问题，而且设想便于基层推广使用，简化过一些测定方法，并写了一本小册子，1975年由石油化工出版社出版，受到读者的欢迎，也听到有不同意见。这次应出版社的要求，重新改写了这个小册子。但因水平有限，不当之处仍在所难免。好在国家实行“双百”方针，在科学问题上允许作各种探讨，我想这是有益的。因此才愿意再一次抛砖引玉。如果这本小册子能够对于在农业基层工作的同志们有所补益，也算作者尽了一点心愿。

赵微平

1981年11月于北京师范学院

目 录

前言

一、作物的有机组成和生物产量	1
二、土壤水与作物生长的关系	6
1. 水分的生理学意义	6
2. 土壤内的可利用水	8
3. 土壤含水量对种子萌发的影响	12
4. 根据作物对水分的要求合理灌水	14
三、土壤内的营养元素状况	17
1. 氮素	18
2. 磷素	28
3. 钾素	33
4. 钙素	34
5. 镁素	35
6. 硫素	36
7. 铁素	36
8. 微量元素	36
铜	36
锌	37
锰	37
硼	37
钼	37
9. 土壤的肥力等级与主要营养元素氮、磷和钾	37
10. 土壤的酸碱度	38
11. 淹水对土壤养分状况的影响	40
四、作物的养分状况	42
1. 糖的形成和分布	44
2. 植物体内的硝态氮与氮代谢	52
3. 作物体内的无机磷和磷化物	71
4. 植物体内各种金属离子的生理学作用	77

钾素	77
钙素	80
镁素	81
铁素	82
微量元素	84
锰	85
铜	86
硼	86
锌	86
钼	87

五、合理施肥的问题 88

1. 各种作物的需肥量	89
2. 作物吸收养分的规律性	93
3. 无机养分对作物生长的影响	100
4. 外界条件对施肥的影响	106
5. 营养元素的移动率	111
6. 施肥与作物种类	112
7. 复合肥料	114
8. 施肥的养分指标	117

六、某些简易测定法 121

1. 取样	121
2. 植物材料和土壤含水量、土壤容水量的测定以及灌溉量的计算	122
3. 土壤浸液的制备	124
4. 植株浸提液的制备	126
5. 糖的测定	126
6. 硝态氮的测定	128
7. 铵态氮的测定	132
8. 水解氮的测定	132
9. 全氮的测定	133
10. 有效磷的测定	136
11. 全磷量的测定	137
12. 速效钾的测定	139

13. 滴定法测钾	140
14. 土壤微量元素的速测	143
(1) 浸提	143
(2) 铁	143
(3) 锌	144
(4) 镁	145
(5) 铜	145
(6) 钼	146
(7) 锰	146
(8) 硼	147
15. 土壤有机质的测定	148
16. PH的测定	149
17. 水培法	152
18. 硝酸还原酶的测定	153
19. 土壤质地的测定	154
20. 土壤石灰反应的测定	156
七、附录	157
1. 农村科技站常用的实验用品	157
2. 农村科技站常用的仪器	159
3. 农村科技站常用的药品或化合物	159
4. 盐酸溶液 (15℃) 的比重和浓度	161
5. 硫酸 (15℃) 的比重和浓度	162
6. 度量衡的换算	162
7. 小麦试验田技术档案	163
8. 玉米收前调查汇总表	165
9. 玉米田间调查汇总表	166
10. 棉花田间测产及考种表	167
11. 棉花田间档案记载表	168

一、作物的有机组成和生物产量

地球上的生命主要有三种形态：植物、动物和微生物。植物是自养性生物，即能依靠简单的无机物获得营养。这种自养体系是在长期历史发展过程中形成的，非常复杂、完善和经济。一颗有生命力的种子（或孢子）在适宜的条件下，萌发以后，只要有阳光、水分、无机盐、空气和适当的温度，新形成的植物便能够不断长大，开花结实，并为整个世界造福。地球上生命的存在，农业的发展都取决于植物的这种由无机物合成有机物的能力。作物是植物的一部分。是在人工照料下能直接为人类提供农业产量的那部分植物，或称之为农作物。

动物和微生物是异养的，即只能靠现成的有机物获得营养。所以这两类生物的存在必须依赖于植物，植物不仅为它们提供多种多样的有机物和能量来源，而且还为动物界和人类造成了适宜的生活条件。有了植物，地球上相当数量的水，才得以分解成为氧气。生物的有氧呼吸和自然界的燃烧过程才有了可能，而这两个过程对于整个生命界和现代工业发展的意义是人所共知的。植物合成有机物并同时放氧的能力被称之为光合作用。在光合作用中，植物能形成碳水化合物（糖类），而且也能形成蛋白质、脂肪等物质。这三类物质在有光或无光的条件下，又可能相互转变，相互变化。

人类通过栽培作物所获得的各种农产品，就是植物所合成的各种各样的有机物（见表2）。整个植物界在合成有机物

这一点上没有本质的差别，但是在合成的种类和数量，在贮存和积累的方式上却存在着很大的不同。根据作物所提供产品的不同，可以将作物区分为粮食作物、油料作物、蔬菜作物、经济作物，等等。粮食作物主要是由禾谷类组成的，在这些作物的种子内贮藏着大量的碳水化合物（主要是淀粉）是人体获得能量的主要来源。禾谷类的种子中也贮存有一定数量的蛋白质，但数量有限。所以从人类营养的角度来看，单靠禾谷类种子中的蛋白质还满足不了人体的需要。豆类作物含有较多的蛋白质，因此应该经常注意以豆类或动物性食品（蛋、肉、鱼、乳等）来补充人类食物中蛋白质的不足。

表 2 几种作物种子的平均化学成分

种 类	平均含量 (%)					
	干物质	碳水化合物 (主要是淀粉)	蛋白质	脂 肪	纤 维	灰 分
小 麦	89.6	69.8	13.5	2.1	2.1	1.8
	91.5	71.9	13.5	2.2	2.1	2.0
	89.1	72.6	9.9	2.0	2.7	1.9
大 麦	89.9	71.0	8.7	1.9	5.7	2.6
玉 米	88.5	71.0	9.8	4.3	1.9	1.5
水稻(带壳)	88.6	61.7	8.3	1.8	8.8	5.0
高 粱	89.1	70.8	10.2	3.0	3.4	1.7
谷 子	89.4	71.2	11.2	2.9	2.2	1.9
大 豆	90.2	26.3	36.9	17.2	1.5	5.3
棉 籽	93.6	14.8	39.0	33.2	2.2	4.4
花 生	94.7	11.7	30.5	47.7	2.5	2.3
向 日 葵	95.5	16.3	27.7	41.4	6.3	3.8

油料作物种类很多，花生、大豆、油菜籽、棉籽、麻籽、葵花籽，等等。这些种子蛋白质的含量都较高，同时也含有较多的油分，故称之为脂肪种子。蔬菜和水果的水分较大，有机干物质相对较少，但这些作物所含有的维生素（特别是维生素C）是人体所经常需要的物质（见表3）。在各种蔬菜中也含有大量的钾离子，能满足人体对钾盐的需要。

表 3 各种蔬菜或水果产品中的有机物组成

作物	蛋白质 %	碳水化合物 %	脂肪 %	纤维素 %	水分 %	胡萝卜素 ppm	抗坏血酸 ppm	硫胺素 ppm	核黄素 ppm	尼古酸 ppm
南 瓜	0.5	6	0.3	0.3	92	24	40	0.5	0.6	—
黄 瓜	0.8	2	0.2	0.7	96	2.6	140	0.4	0.4	3
大白菜	1.4	3	0.1	0.5	94	1.1	240	0.2	0.4	3
萝 卜	0.8	7	0.1	0.8	91	0.1	190	0.2	0.3	8
茄 子	2.3	3	0.1	0.8	93	0.4	30	0.3	0.4	5
辣 椒	0.9	5	—	0.8	72	15.6	1050	0.4	0.3	3
西红柿	0.6	2	0.3	0.4	94	3.1	110	0.3	0.2	6
芹 菜	2.2	2	0.3	0.8	94	26.1	280	0.5	1.2	7
韭 菜	2.4	4	0.5	0.9	91	34.9	190	0.3	0.9	9
菠 菜	2.0	2	0.2	0.6	93	29.6	310	0.4	1.3	6
葱 头	1.8	8	—	1.1	88	微 量	80	0.3	0.2	2
蒜	4.4	23	0.2	0.7	70	0	30	2.4	0.3	9
柑 桔	0.9	12	0.1	0.2	87	5.5	300	0.8	0.3	3
苹 果	0.2	15	0.1	1.0	84	0.8	50	0.1	0.1	1
梨	0.1	12	0.1	1.7	86	0.1	30	0.1	0.1	2
桃	0.8	7	0.1	4.1	88	0.1	60	0.1	0.2	7
葡 萄	0.2	10	0	1.6	88	0.1	40	0.4	0.1	1
山 楂	0.7	22	0.2	2.0	74	8.2	890	0.2	0.5	4

总之，从人类需要的角度来看，植物能为人体提供多种多样的碳水化合物、蛋白质、脂肪、维生素等等物质，而这些物质都是复杂的有机化合物。

对于整个生命界来说，有机物之所以重要，首先在于有机体本身就是由多种有机物组成的复杂体系，这个体系具有高的含水量，并且在形态结构上非常复杂。其次，有机体（包括植物的非绿色部分）要获得生命所需要的能量必须经常分解有机物，特别是碳水化合物。在碳水化合物和各种有机物的分子中贮存着大量的化学能，当有机物被氧化或燃烧时，这部分能量得到释放。所以一般以燃烧热的概念来表示各种有机物所含有的能量（见表4）。这是有机物的最主要的价值。但从人类生活的角度来看，我们利用有机物，或者是作为燃料，或者是作为食料，如粮食、水果、蔬菜、肉蛋乳类，等等，或者是作为饲料，即生产肉蛋乳的原料。总之，一切都来自于植物。植物不仅现在为人类以及整个生命界造福，而且从地球形成的历史进程来看，煤炭和石油的形成也是由于古代植物光合作用长期活动的结果。植物死后它们的躯体被碳化或碳氢化变成为埋藏在地层中的煤炭和石油。植物所形成的有机质，在植物死后经不完全分解能变成为腐殖质，这对土壤和土壤胶体的形成具有重大意义。

植物在其一生中，所能形成的全部有机物质的量叫作生物产量或干物质产量（去掉水分）。对于所有异养生物来说，生物产量是非常重要的，因为它是整个生命界活动的物质基础。

人类利用植物产品只是生物产量中的一部分，如种子、果实、茎叶、纤维或特有成分，也就是在经济上最有益的那部分产品，故称之为经济产量。经济产量与生物产量的关系如下：

表 4 某些有机物所贮存的化学能 (燃烧热)

有 机 物	千 卡 克	有 机 物	千 卡 克
沼 气 (甲 烷)	6.5	淀 粉	4.22
液化石油气	10.6	植 物 油	9.3
汽 油	11.2	动物脂肪	9.6
煤 油	11.1	牛 肉 干	5.4
木 柴	4.4~5.1	酪 蛋 白	5.8
煤	6.25~8.62	清 蛋 白	5.8
酒 精	7.0	可作粗饲料的茎叶	3.8~4.3
葡 萄 糖	3.75	种 子	4.4~5.0
蔗 糖	3.96		

$$\text{经济产量} = \text{生物产量} \times \text{经济系数}$$

所以

$$\text{经济系数} = \frac{\text{经济产量}}{\text{生物产量}}$$

根据产量的测定,很容易计算出各种作物的经济系数。例如,主要粮食作物,小麦为0.3~0.4,水稻为0.35~0.45,玉米为0.3~0.4左右。根据栽培管理情况的不同,经济系数经常发生变化。施肥水平也能改变各种作物经济系数的大小。

也有人将经济系数称之为收获指数。在一般情况下,随着总干物质质量的增加,收获指数增加。但如果作物生长过速,群落郁蔽,水分或氮肥过多,收获指数会受影响而下降。尽管如此,生物产量总是经济产量的基础,特别是在干旱和肥力水平低的地区,要提高经济产量,首先得造成一定数量的

总的干物质产量。而总干物质的增加则与叶面积和叶面积存留时间有关。叶面积的大小，与播种密度有关，同时也取决于灌溉和施肥水平。所以通过肥水管理促进叶面积的增长和作物群体的发展是创高产的最有效的手段。图1中的曲线表明，氮、磷、钾对作物的叶面积能发生显著的影响。所以在农业生产上应充分利用这些手段。

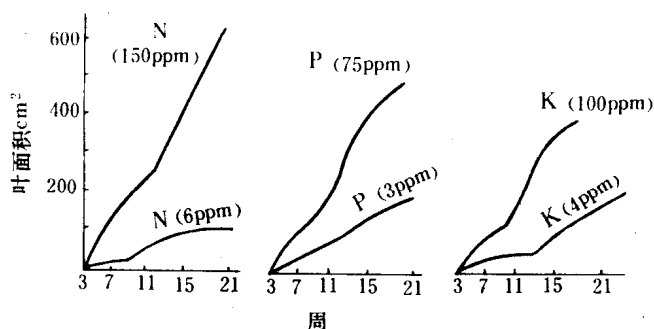


图1 氮、磷、钾对梯牧草叶面积(平均数)的影响
(Langer, 1959)

二、土壤水与作物生长的关系

1. 水分的生理学意义

水利是农业的命脉。在植物体的组织中，水分约占60%以上，积极生长的组织或器官含水量还要高(80%以上)。这是由于能体现生命现象的细胞原生质是一个由多种有机物(蛋白质、核酸、拟脂，等等)和无机物组成的非常复杂的有自

我更新能力的亲水系统。这个系统具有明显的结构性，而且离不开水溶液。所以说，水分是原生质组成中最主要的成分，离开了水，也就谈不上生命（见表5）。

表 5 各种植物材料的含水量

植物材料	含水 (%)	植物材料	含水 (%)
种 子	5.8 ~ 11.3	块根或块茎	74 ~ 91
茎 秆	10 ~ 60	多汁性果实	94 ~ 95
叶 子	79 ~ 86		

水分是生命结构（原生质）形成的条件，也是生命存在的介质。对于生命来说，各种重要的物质，如二氧化碳、氧、无机盐、糖、氨基酸等等都能很好地溶解于水，所以水既是很多物质的溶剂，也是细胞内多种反应（如光合、呼吸、等等）的直接参加者和原料。在光合作用所产生的有机物中有一半左右则是由水所组成。

作物在一生中需要大量的水分（见表6），但是所吸收的水分的99.8%以上是通过植物体（主要是叶子）蒸发掉，这就是植物的蒸腾作用。

对于作物的正常生长来说，蒸腾是绝对必要的。首先，植物要进行光合作用，必须从大气中吸收二氧化碳，与此同时还需要损失水分，因为没有水分的损失，也就换不来植物所需要的宝贵的碳素。其次，蒸腾也是叶子降温的最好的方法，植物在太阳照射的时候主要是靠蒸发水分以汽化热的形式把大量热能消耗掉。这样一来，即使是在夏天的中午，叶子也不会过热，所以，为了保持作物的正常生长，需要经常地供应植物以充足的水分。

表 6 每生产 1 斤干物质所消耗水分的斤数
(依 Stocker, 1929; Polster, 1967; Black, 1971)

草 本 植 物		木 本 植 物	
C ₄ 植物		落叶树	
玉 米	370	橡 树	310
黍 子	300	桦 树	320
苋 菜	300	山毛榉	170
马齿苋	280		
C ₃ 植物		针叶树	
水 稻	680	松	300
黑 麦	630	落叶松	260
燕 麦	580	云 杉	230
小 麦	540	冷 杉	170
大 麦	520		
紫苜蓿	840		
蚕 豆	700		
红三叶	640		
马铃薯	640		
向日葵	600		
西 瓜	580		
棉 花	570		

2. 土壤内的可利用水

就对植物生活的关系来看, 土壤水可分为可利用水和不可利用水两种, 可利用水包括重力水和毛管水, 但是主要是毛管水, 因为一般重力水停留的时间比较短, 所以毛管水也叫有效水。不可利用水则是土壤胶粒表层的吸着水(见表 7)。

表 7 土壤的水分常数

水分常数	可利用的程度	种类
最大含水量		重力水 ↑ ↓
田间持水量.....		
	易吸收的 ↑ ↑	
生长受阻水分点.....	有效水	毛管水
	难吸收的	
初期萎蔫点.....	↓ ↓	
		↑
永久萎蔫点		吸着水
风干状态		↓
100℃下干燥状态		

重力水通常是在雨后或刚灌溉后，充满土壤大空隙中的水分，由于地心引力的影响，经常向下移动，所以这部分水不是根所能经常得到的水分。

毛管水充满土壤毛细管空隙中，由于这部分水不受地心引力的限制，不往下流，所以是植物经常容易得到的水分，特别是在较干旱的时候，毛管水由于毛细管作用能够从地下水面上升至土壤表面，所以这部分水在农业上是最有价值的水分。

当毛管水没能为作物所吸收而上升到地表以后，能因蒸发而损失。人们经常采用中耕、松土等割断土壤毛细管的方法，减少地面蒸发，以保存土壤的可利用水。

在某些情况下，虽然土壤中有很多水分，但植物却不能很好地利用。例如，在低洼盐碱地，由于盐分过高，作物不能吸水。一般地说，土壤内的总盐分超过0.3%，作物的生长