

新型农民阳光培训教材

蔬菜测土配方施肥新技术

宋远平 田英才 主编

测土配方施肥
对比试验



科学普及出版社
POPULAR SCIENCE PRESS

新型农民阳光培训教材

蔬菜测土配方施肥新技术

宋远平 田英才 主编

科学普及出版社

• 北 京 •

图书在版编目 (CIP) 数据

蔬菜测土配方施肥新技术/宋远平, 田英才主编. —北京: 科学普及出版社, 2013. 2

(新型农民阳光培训教材)

ISBN 978-7-110-07891-4

I. ①蔬… II. ①宋…②田… III. ①蔬菜园艺-土壤肥力-测定-技术培训-教材②蔬菜园艺-施肥-配方-技术培训-教材 IV. ①S630.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 259645 号

责任编辑 鲍黎钧

封面设计 鲍 萌

责任校对 孟华英

责任印制 张建农

出版发行 科学普及出版社

地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号

邮 编 100081

发行电话 010-62173865

传 真 010-62179148

投稿电话 010-62176522

网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 850mm×1 168mm 1/32

字 数 92 千字

印 张 4.625

版 次 2013 年 2 月第 1 版

印 次 2013 年 2 月第 1 次印刷

印 刷 北京市彩虹印刷有限责任公司

书 号 ISBN 978-7-110-07891-4/S·516

定 价 15.00 元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

前 言

进入 21 世纪,蔬菜生产将面临新的机遇和挑战。蔬菜生产是一种高度集约化型的新兴产业。鉴于我国农田耕地严重不足,今后不可能大幅度增加菜田面积,那么发展蔬菜生产的必然趋势只能是稳定现有菜田面积,加强科技投入,加快实现经济增长方式由粗放型向集约型的转变。

为了加大标准化菜田建设的力度,用科学技术武装菜农和科技人员,提高蔬菜生产水平,向菜农普及测土配方施肥的基本理论,建立菜园土壤和蔬菜营养平衡的新理念,并指导菜农灵活掌握菜园土壤测土配方施肥技术,特编写此书。本书重点从技术层面介绍了菜园测土配方施肥的含义、技术流程、核心内容、关键技术等,并涵盖了田间肥料效应试验、样品采集与测试的最先进技术、蔬菜专用肥配方设计与主栽蔬菜测土配方施肥实用技术等内容。

由于笔者水平有限,书中难免有不足和错漏之处,敬请读者批评指正。

编 委 会

主 编 宋远平 田英才

副主编 李 涛 金洪波 何玉春
沈小红

编 委 黄 烨 刘清华 王清丰
郝 青 任建军 杨书清

目 录

第一章 蔬菜的基础知识	1
第一节 蔬菜的根系	1
第二节 蔬菜的需肥	5
第三节 蔬菜的需水	10
第二章 菜园测土配方施肥基础知识	15
第一节 菜园测土配方施肥概述	15
第二节 菜园测土配方施肥的田间试验技术	20
第三章 菜田配方肥料施用技术	29
第一节 肥料的种类	29
第二节 施肥方法	36
第三节 施肥量的确定	44
第四节 测土配方施肥技术的总结与效果评价	55
第四章 菜田主要节水灌溉技术	60
第一节 菜田常用的灌水方式	60
第二节 改进地面灌水技术	62
第三节 几种相关技术	69
第五章 主要蔬菜的栽培及需肥特点	74
第一节 概 述	74
第二节 果菜类蔬菜	79
第三节 叶菜类蔬菜	89

第四节	根菜类蔬菜	99
第五节	瓜菜类蔬菜	106
第六节	葱姜蒜类蔬菜	119
第七节	豆类蔬菜	134
参考文献		140

第一章 蔬菜的基础知识

蔬菜按其生物学特性和食用部位的不同,大致可以划分为叶菜类、茄果类、甘蓝类、瓜类、豆类、根菜类、葱蒜类、薯芋类、水生类和多年生蔬菜。蔬菜与粮食一样,是人们日常生活所不可缺少的食物。蔬菜品种很多,能够种植的蔬菜有 200 余种,其中大规模种植的蔬菜有 50~60 种。不同蔬菜之间水肥的需求特点和水肥吸收规律差异很大,即使同一种蔬菜在不同的季节栽培,其水分和养分需求数量和吸收特性都会有很大差异,随着品种的不断更新和反季节栽培数量的不断增加,这种复杂程度也在不断增加。因此,蔬菜对灌溉施肥技术和种植水平要求较高。

第一节 蔬菜的根系

一、蔬菜根系的特点

蔬菜与大田粮食作物相比,根系普遍分布浅,根长密度低,养分吸收能力相对较弱,因而需要土壤提供相对较高的养分浓度和强度。蔬菜根系是植物吸收养分的最主要的器官,但根系盐基代换量大小与吸收养分能力强弱呈正相关。

不同种类蔬菜对土壤含氧量敏感程度和要求不同,萝卜、包菜、豌豆、番茄、黄瓜、菜豆、辣椒等蔬菜对土壤含氧量敏感,不足时对生长影响较大,但蚕豆、豇豆、洋葱等对土壤含氧量反应不敏感,氧气不足时对生长影响不大,黄瓜对土壤含氧量要求

最高，因此，根系大部分分布在表层范围。所以说，土壤通气状况好坏对根系形态和吸收功能有很大的影响。

一般根系深而广、分根多、根毛发达的蔬菜，如南瓜、冬瓜等，以及根系较大的蔬菜，如甜菜、胡萝卜、茄子、豆类等，根系与土壤的接触面大，能吸收较多的养分，在瘠薄的土壤上也能生长发育，施肥可以粗放些。而根系发育差，特别是黄瓜、洋葱、茼蒿等，根系分布浅，开展度也很小，吸收土壤养料能力差，必须栽培于肥沃的土壤上，且要精细施肥。

二、土壤的养分

养分的强度是指土壤溶液中养分的浓度。土壤溶液中养分浓度越高，根直接接触的养分越多，植物吸收就越容易，它是土壤养分供应的主要因子。养分容量是指土壤中有效养分的数量，是不断补充强度因子的库容量。土壤容量库包括液相和固相贮存的养分，当土壤溶液中养分浓度随根系吸收而降低时，土壤固相贮存的养分释放出来补充溶液中的损失，这种储存量即是土壤养分的容量因子。可见养分的强度因素和容量因素是相互关联的。容量因素对强度因素的补充不仅取决于养分库容量的大小，还决定于固相贮存的养分释放的难易程度。养分库容量的大小与植物根系在土壤中的分布体积有关，植物根系越发达，可以接触的土壤面积越大，吸收的养分越多，反之亦然。固相贮存的养分一方面以有机态形式存在，另一方面被土壤矿物的表面吸附固定，在一定条件下土壤有机物质发生矿化作用释放出矿质态养分，或者通过交换吸附将土壤胶体吸附的养分释放到土壤溶液中这补充强度因素。但是固相养分的释放受到土壤 pH、水分、温度、通气性、土壤质地、土壤微生物等诸多方面的影响。

保证作物正常生长的重要条件是水分和养分的充足供应。缺水、缺肥及其二者供应的不同步性，都会影响作物的生长和肥料

的利用率,甚至会造成环境风险。土壤中养分能否为植物根系所吸收,与其所处的空间位置密切相关。土壤中有效养分只有达到根系表面才能为植物吸收,成为实际有效养分。但植物根系在整个土体中仅占据3%左右的容积,养分的迁移对提高土壤养分的空间有效性十分重要,而水分的有效性则起到决定性的作用。灌溉或降水增加土壤湿度,可使土壤表面的水膜加厚,增加根表与土粒间的接触吸收,又可减少养分的扩散曲径,提高养分扩散速率,促进养分向根表的迁移。然而不同养分随水分的移动性差异较大。硝态氮和钙离子、镁离子移动性大,而一些盐基离子,如 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 等则较小。灌溉过量容易将硝态氮以及其他易溶养分淋洗出根层,也会降低养分的有效性。此外,含水量对植物根系生长的影响也会间接影响土壤养分的有效性。在作物生长季节表层土壤含水量降低较快会抑制养分向根表的迁移,导致表层土壤养分的有效性逐渐降低。这时作物只能靠深层根系吸收土壤养分。然而土壤含水量低会抑制根伸长,植物对养分的吸收量不高。因此,需要灌溉调节根层土壤的湿度,有效提高土壤养分的空间有效性和生物有效性。

三、蔬菜根系形态与养分供应

作物需要的养分通过土壤溶液提供,而土壤固相中的养分起到补充的作用。作物主要通过根系从土壤中获得养分,因此,养分有效性不仅取决于土壤的因素,同时也取决于根系的状况,例如作物的根长密度、根系深度等都可能影响到根系对养分的获取。总体上来看,蔬菜作物的根系普遍分布浅,根长密度低,养分吸收能力相对较弱,需要土壤提供相对较高的养分浓度和强度。

不同蔬菜的根系构型、有效的根系深度和吸收能力的差异决定了土壤养分供应的临界浓度水平的高低。根长密度是指单位体

积土壤中的总根长，它表示有多大比例的土壤体积向根系供应养分，反映了根系生长发育的状况和作物对水分、矿质营养元素的吸收能力。和大田作物相比，蔬菜的根长密度要低得多，根长密度可能和氮素消耗能力有关，如果某一土层的根长密度水平很低，该层根系吸收的氮素在作物吸收的氮素总量中占有的比例相对就低，相应的要求提高土壤氮素供应的强度。须根系的黄瓜因为根系分布浅，根长密度低和吸收能力弱，它要求土壤中保持较高的养分供应浓度，而胡萝卜的有效根系深度比黄瓜要高得多，因此，胡萝卜的养分临界浓度要比黄瓜低。

在0~30厘米的耕层土壤中，蔬菜的根长密度主要介于2~4厘米/厘米³范围内，和谷类作物的根长密度（10厘米/厘米³）相比要低得多。对于菠菜、甘蓝和生菜来说，当土壤溶液中的硝酸盐浓度低于1.5毫摩/升时，根系便不能再吸收硝酸盐。Robinson等（1991）通过对小麦的研究得出整个根系只有3.5%~11%可以有效地吸收硝酸盐。通过观察花椰菜发现，在45~60厘米土层中根长密度由0.2厘米/厘米³增加到1.5厘米/厘米³时，土壤中硝酸盐的残留量也由30千克/公顷下降到10千克/公顷²，这些结果意味着根长密度可能和氮素消耗有关。

有效的根系深度是另一个描述作物根系特性的很重要的因素。蔬菜由于具有较浅的根系，因此，每公顷只有较低的根系干物质重量。生长期较长的蔬菜如卷心菜、芽甘蓝和花椰菜等要比生菜和菠菜具有较深的根系，即使在深层土壤中含有大量硝酸盐的情况下，在表层土壤氮素供应不足时菠菜和甘蓝的根系深度也不会增加，而冬小麦则不然，与生长期较长的蔬菜品种相比，可以适应低氮水平而继续生长。

四、蔬菜根系形态与水分供应

根据根系形态特点蔬菜可以分为以下几类。

1. 半湿润蔬菜

半湿润蔬菜叶面积较小，组织粗硬，叶面常有茸毛，水分蒸腾量较少，对空气相对湿度和土壤湿度要求不高；根系较为发达，有一定的抗旱能力。在栽培中要适当灌溉，以满足其对水分的要求，如茄果类、豆类、根菜类等。

2. 湿润性蔬菜

湿润性蔬菜叶面积大、组织柔嫩、叶的蒸腾面积大、消耗水分多，但根群小，而且密集在浅土层，吸收能力弱。因此，要求较高的土壤湿度和空气湿度。在栽培上要选择保水力强的土壤，并重视浇灌工作、如黄瓜、白菜、芥菜等绿叶菜类。

3. 水生蔬菜

水生蔬菜根系不发达，根毛基本退化，吸收能力很弱，而它们的地上部分相对柔嫩，在高温下蒸腾旺盛，因此，这类蔬菜的全部或大部分必须在水中才能生长，如藕、茭白等。

4. 耐旱性蔬菜

耐旱性蔬菜叶子大，叶上由裂刻及茸毛，能减少水分的蒸腾，而且有强大的根系，根系分布既深又广，能吸收土壤深层水分，抗旱能力强，如南瓜、胡萝卜等。

5. 半耐旱性蔬菜

半耐旱蔬菜的叶片呈管状或带状，叶面积小，且叶表面常覆有蜡质，蒸腾作用缓慢，水分消耗少，能忍耐较低的空气湿度。但根系分布范围小，入土前，几乎没有根毛，吸收水分的能力弱，要求较高的土壤湿度、如葱蒜类。

第二节 蔬菜的需肥

作为一种高度集约栽培的作物，蔬菜的生长发育特性和产品器官各有差别，其需肥特点有以下几方面的共性。

一、蔬菜的一些特殊养分的需求

1. 蔬菜对钙的需求

一般喜硝态氮(NO_3^-) (如, 硝酸钠或硝酸钙) 蔬菜吸钙量都高, 有的蔬菜体内含钙可高达干重的 2%~5%。蔬菜根系吸收能力较强, 吸收二价钙比较多, 是小麦的高 5 倍多。由于蔬菜根部盐基代换量高, 所以钙(Ca^{2+}) 和镁(Mg^{2+}) 的营养水平也高。蔬菜吸收钙量平均比小麦高 5 倍多, 其中萝卜吸钙量比小麦多 10 倍, 包菜高达 25 倍以上。盐基代换量高的作物, 吸收二价的钙(Ca^{2+})、镁(Mg^{2+}) 离子多。因此, 蔬菜上应施钙肥与镁肥。蔬菜常发生缺钙的生理病害, 如, 白菜、甘蓝的心腐病(干烧心病), 黄瓜、甜椒叶上的斑点病, 番茄的脐腐病。

2. 蔬菜对硝态氮需求

多数农作物能同时利用铵态氮和硝态氮, 但蔬菜对硝态氮特别偏爱, 铵态氮过量时, 则抑制钾和钙的吸收, 使蔬菜生长受害, 产生严重的生育障碍。一般硝态氮比铵态氮等于 7:3 较为适宜。有资料证明, 当铵态氮(NH_4^+) (如碳铵或氯化铵) 施用量超过 50% 时, 洋葱产量显著下降。菠菜对铵态氮更敏感, 在 100% 硝态氮条件下产量最高。多数蔬菜对不同态氮反应与洋葱、菠菜反应相似。因此, 在蔬菜栽培中应注意控制铵态氮的适当比例。铵态氮一般不宜超过氮肥总施肥量的 1/4~1/3, 当铵态氮不适当地增加时, 钙和镁的吸收量都下降。

3. 蔬菜对硼的需求

蔬菜比禾本科作物吸硼量多, 是禾本科作物的几倍到几十倍(表 1-1)。由于蔬菜体内不溶性硼含量高, 硼在蔬菜体内再利用率低, 易引起缺硼症, 如甜菜的心腐病、芹菜的茎裂病、芜菁及甘蓝的褐腐病、萝卜的褐心病等都与缺硼有关。

表 1-1 各种作物含硼量比较 (毫克/千克)

大田作物	含硼量	蔬菜	含硼量	蔬菜	含硼量
大麦	2.3	菠菜	10.4	胡萝卜	25.0
黑麦	3.1	芹菜	11.9	甘蓝	37.1
小麦	3.3	马铃薯	13.9	菜豆	41.4
玉米	5.0	番茄	15.0	萝卜	49.2
		豌豆	21.7	甜菜	75.6

二、蔬菜需肥量

多数蔬菜由于生育期较短,复种茬数多,许多蔬菜如大白菜、萝卜、冬瓜、番茄、黄瓜等,产量常高达 75 吨/公顷以上,因此,蔬菜从土壤中带走的养分相当多,所以蔬菜的单位面积施肥量要比粮食作物多。蔬菜平均氮、磷、钾、钙和镁的吸收量比小麦分别高 4.4 倍、0.2 倍、1.9 倍、4.3 倍和 0.5 倍。从表 2-1 看到,蔬菜茎叶中的氮、磷、钾含量分别是稻麦的 6.5 倍、7.1 倍和 2.3 倍;籽实或可食器官的氮、磷、钾含量分别是稻麦的 2.0 倍、1.5 倍和 6.9 倍。同时,蔬菜为保持其收获期各器官都有较高的养分水平,需要较高的施肥水平,以满足其在较短时间内吸收较多的养分。蔬菜吸收养分能力强与其根系阳离子交换量高是分不开的;据研究,黄瓜、茼蒿、茼蒿和芥菜类蔬菜的根系阳离子交换量都在 400~600 毫摩/千克,而小麦根系阳离子交换量只有 142 毫摩/千克,水稻只有 37 毫摩/千克。

此外,绝大多数蔬菜均在未完成种子发育时即行收获,以其鲜嫩的营养器官或生殖器官作为商品供食用。由于蔬菜属收获期养分非转移型作物,茎叶和可食器官之间养分差异小,尤其是磷,几近相同,因此,蔬菜收获期植株中所含的氮、磷、钾均显著高于大田作物,相反,禾本科粮食作物属部分转移型作物,在籽粒完熟期,茎叶中的大部分养分则迅速向籽实(贮藏器官)转

移,因此,禾本科粮食作物籽实的氮磷养分含量显著高于茎叶(表 1-2)。

表 1-2 收获期蔬菜与稻麦植株中养分含量的比较 (单位:干重%)

作物	样本	数茎(秆)叶			籽实或可食器官		
		氮	磷	钾	氮	磷	钾
大麦	22	0.435	0.055	1.36	1.56	0.238	0.530
小麦	8	0.313	0.034	0.90	1.75	0.371	0.365
水稻	8	0.521	0.037	1.53	1.20	0.202	0.332
平均		0.419	0.059	1.28	1.50	0.272	0.409
蔬菜(10种平均) ^①	38	2.69	0.418	2.07	3.06	0.406	2.83
相对	稻麦(平均)	100	100	100	100	100	100
含量(%)	蔬菜(平均)	652	708	232	204	149	691

①10种蔬菜:萝卜、茼蒿、芹菜、白菜、甘蓝、花椰菜、番茄、马铃薯、甜椒和黄瓜。资料来源:奚振邦,1996

三、蔬菜的产量和养分吸收量比照

Fink (2001) 总结了欧洲主要栽培蔬菜的生物量和经济产量及其相应的养分吸收量。由表 1-3 可知,在小萝卜的整个生育期,氮素吸收量 70 千克/公顷氮左右,而花椰菜的整个生育过程却需要吸收 320 千克/公顷氮。京郊地区不同蔬菜种类的产量和养分吸收状况与此基本一致(表 1-4),但针对具体作物而言,京郊地区蔬菜的产量和养分吸收量与欧洲的数据相比有较大的差异,总体上高于欧洲的水平。不同蔬菜种类之间产量和养分吸收量的差异对蔬菜生产的养管理提出了不同的要求,蔬菜养管理中必须根据各种蔬菜之间养分需求的差异,确定适宜的养分供应量。

表 1-3 几种蔬菜产量以及养分吸收量参考数据

(根据 Fink 等的资料整理, 1999)

蔬菜 种类	总生物量（鲜重）					经济产量（鲜重）				
	产量 (吨/公顷)	氮	磷	钾	镁	产量 (吨/公顷)	氮	磷	钾	镁
		（千克/吨）					（千克/吨）			
绿菜花	90	3.7	0.46	4.0	0.28	20	4.5	0.65	3.8	0.2
胡萝卜	100	1.7	0.36	4.1	0.21	80	1.3	0.35	3.5	0.15
花椰菜	100	3.2	0.48	3.3	0.14	40	2.8	0.45	3.0	0.12
芹菜	75	2.7	0.55	4.7	0.20	50	2.5	0.65	4.5	0.15
大白菜	120	1.6	0.36	2.7	0.10	70	1.5	0.40	2.5	0.10
洋葱	65	1.9	0.34	2.0	0.15	60	1.8	0.35	2.0	0.15
小萝卜	35	2.0	0.30	2.8	0.20	30	2.0	0.30	2.8	0.20
菠菜	40	3.6	0.50	5.5	0.50	30	3.6	0.50	5.5	0.50
黄瓜	120	1.7	0.40	2.8	0.30	70	1.5	0.30	2.0	0.12
生菜	60	1.8	0.30	3.0	0.15	50	1.8	0.30	3.0	0.15

表 1-4 北京市郊主要露地蔬菜养分含量和养分吸收数量

作物	栽培季节	养分含量 (毫克/千克 FW) ^①			养分吸收 (千克/吨 FMP) ^②		
		氮	磷	钾	氮	磷	钾
菠菜	春季	2500	900	5300	2.48	0.86	5.29
	秋季						
大白菜	春季	1600	360	2700	1.50	0.40	2.50
	秋季	2240	650	3150	1.80	0.5	1.80
番茄	春季	1770	650	1460	0.71	0.46	1.21
	秋季						
甘蓝	春季	2000	720	2200	2.80	0.90	2.00
	秋季	2300	330	2700	2000	320	2600
花椰菜	春季						
	秋季	3216	617	1132	4.68	0.74	1.85

续表

作物	栽培季节	养分含量 (毫克/千克 FW) ^①			养分吸收 (千克/吨 FMP) ^②		
		氮	磷	钾	氮	磷	钾
黄瓜	春季	1500	100	3200	1.40	0.50	2.30
	秋季	3148	105	3030	3.214	1.20	2.57
豇豆	春季	4800	1760	4800	3.10	1.20	3.07
	秋季	3400	400	3600	2.50	0.40	2.50
萝卜	春季	2000	300	2800	2.00	0.30	2.80
	秋季	2119	1306	2451	1.45	0.95	1.93
茄子	春季	4800	1200	3100	2.44	0.69	1.98
	秋季	2028	1032	3422	2.44	0.65	2.78
芹菜	春季	2700	550	4700	2.50	0.65	4.50
	秋季	2550	1360	3670	2.55	1.36	3.67
甜椒	春季	2000	1000	660	1.00	0.50	4.80
	秋季						

①表示数据来源于专家建议, FW 指作物生物产量鲜重; ②FMP 指经济产量鲜重。

第三节 蔬菜的需水

蔬菜多为柔嫩多汁、水分富集的高产作物, 因此, 充分供应水分是蔬菜高产的保证。

一、蔬菜对水分需求的分类

根据对水分的需要程度不同, 蔬菜可分为 5 个类型。

1. 水生蔬菜

消耗水分很快、吸收水分能力又很弱的蔬菜类型, 如茭白、藕、荸荠等。植株整个或部分都要浸在水中才能生长。其茎叶柔嫩在高温条件下蒸腾作用旺盛, 根系不发达, 根毛退化, 故吸收