

棉花 营养与施肥

● 中国农业科学院棉花研究所

毛树春 编著



中国农业科技出版社

棉花营养与施肥

中国农业科学院棉花研究所

毛树春 编著

中国农业科技出版社

(京) 新登字061号

内 容 提 要

本书较全面地总结了国内外80年代棉花营养理论和科学施肥研究的新成就。全书分七章，分别论述了棉花营养元素的生理效应、吸收分布规律、土壤含量及施肥技术，棉花平衡营养与平衡施肥，棉花营养诊断与施肥指导。对于稀土元素也作为有益元素专辟一章进行了论述。

本书作者试图在建立棉花营养学和施肥科学体系上作出努力，使其具有理论指导与实际应用价值，可供科技人员、农业院校师生及基层棉花技术推广人员参阅。

棉花营养与施肥

中国农业科学院棉花研究所

毛树春 编著

责任编辑 王涌清

技术设计 马丽萍

*

中国农业出版社出版（北京海淀区白石桥路30号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市密云县印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/32 印张：7.125 字数：178千字

1993年8月第一版 1993年8月第一次印刷

印数：1—1200册 定价：6.00元

ISBN 7-80026-488-2/S·325

前 言

棉花营养学是棉花生理学的重要组成部分。棉花营养学是研究棉花营养理论并指导棉花科学施肥的一门学科。所要阐述的是矿质营养对棉花的生理效应；棉花营养元素吸收和分布的一般规律；棉花营养元素吸收比例和强度与生育进程和其它各种因素之间的关系；矿质营养与棉花生长发育、结实、熟性和品质的内在联系。土壤是植物营养的给源，土壤养分的平衡状况及供给强度制约着棉花营养元素的吸收平衡和强度，施肥的目的在于不断地调节和保持提高土壤养分元素达到相对的平衡状态和一定程度的强度，满足棉花获得高产优质的需要。

80年代国内外棉花营养与科学施肥取得了多方面的进展，其中一些领域进展较快。在棉花营养方面，如把矿质营养元素划分为结构元素、功能元素和有益元素三大类型，这种划分法避免了传统划分法把一些对植物生长产生良好效应的元素拒之于营养之外的弊病；按照营养元素对棉花的效应划分为结实性和早熟性元素两大类，这种特殊的划分法将有助于认识营养元素的客观规律性；棉花氮磷元素亏缺通过制约水分传力对生长发育产生抑制效应，从而把养分—水分—生长有机联系在一起；锌保护生物细胞膜的完整性在棉花上得到证实，磷-锌互作机制即缺磷诱导缺锌的机制；硼对纤维发育是必需的，但其作用机制尚不清楚；部分元素之间的替代效应及元素之间的协作效应也取得一些进展，而平衡

营养理论尚处在认识和探索阶段，棉花营养诊断研究的进展较为缓慢。在棉花科学施肥方面，首先，我们对全国棉田土壤养分含量状况有个大致了解，其中棉花硼肥效应已经分区；其次，施肥技术从传统的单一看苗转向到土壤测定、植物分析、效应函数和看苗相结合，最显著的特点是肥料指标量化，从“少吃多餐”到基追并重，施用规范化；第三，施肥观念发生很大变化，如从注重产量到产量与品质并重，氮磷、氮磷钾平衡到大量元素与微量元素平衡，肥料与生产措施及环境之间的综合平衡，棉花氮素平衡系土壤库存和肥料氮—土壤水分—碳素生产—生长发育和产量需要诸因素之间的平衡；从一熟棉田平衡施肥到两熟及多熟制棉田的平衡施肥，将来要逐渐发展成为针对性强的区域性及生产带的平衡施肥。虽然计算机指导施肥尚不具备大面积应用的条件，但有较强的生命力。

本书写作得到了棉花界专家教授和同事们的全力支持、热情鼓励和真诚指导。中国农业科学院棉花研究所所长汪若海研究员及副所长郭金城副研究员审查了本书的编写提纲，亲自过问写作进度，多方面给予鼓励和支持；唐耀升研究员、华中农业大学刘武定教授、皮美美教授及尹名济副教授审校了本书的一稿及部分二稿，提出了许多修改意见和补充资料；江苏沿海地区农业科学研究所朱佩君同志及新疆自治区农业科学院李文先先生提供了一些有价值的资料；我的同事詹先合、潘学标、杨付新、王坤波同志给予了很多帮助，余鸿基助研和王秀玲老师帮助绘图，张末喜讲师抄写了书稿。在此，我对上述专家、教授和同事们的辛勤劳动、热情关心和积极支持表示衷心的感谢和诚挚的敬意！

编写《棉花营养与施肥》旨在建立棉花营养学与施肥科

学体系，力求突出理论，讲究实用，完整和创新，故全书章节、层次和内容跟过去所有涉及棉花营养和施肥的著作都不同。由于初试加上出自新人之手，水平有限，书中肯定存在不少缺点和错误，我殷切希望棉花界及植物营养与施肥界的同志们提出宝贵意见，以便今后再版时加以修改和补充。

编著者

1992年3月

目 录

第一章 总论	(1)
第一节 棉花营养元素的定义和分类.....	(1)
第二节 棉花生育与营养.....	(3)
一、全生育期.....	(3)
二、产量与养分吸收.....	(5)
三、养分吸收强度与平衡.....	(7)
第三节 棉花生殖与营养.....	(8)
一、结实性和早熟性.....	(8)
二、棉铃.....	(9)
三、种子和纤维品质.....	(10)
第二章 棉花氮磷钾营养	(13)
第一节 棉花氮素营养.....	(13)
一、氮营养的生理效应.....	(13)
二、氮素的吸收和同化.....	(17)
三、氮素分布与生育进程的相对吸收率.....	(18)
四、棉田土壤氮素.....	(24)
五、氮肥效应.....	(27)
六、棉花氮肥利用率及提高途径.....	(39)
七、氮肥施用技术.....	(43)
第二节 棉花磷素营养.....	(44)
一、磷营养的生理效应.....	(44)
二、磷素吸收和同化.....	(48)
三、磷素分布与生育进程的相对吸收率.....	(48)

四、棉田土壤磷素.....	(54)
五、磷肥效应.....	(57)
六、磷肥施用技术.....	(60)
第三节 棉花钾素营养.....	(61)
一、钾营养的生理效应.....	(61)
二、钾素分布与生育进程的相对吸收率.....	(67)
三、棉田土壤钾素.....	(70)
四、钾肥效应.....	(73)
五、钾肥施用技术.....	(79)
第三章 棉花硫钙镁营养.....	(84)
第一节 棉花硫素营养.....	(84)
一、硫营养的生理效应.....	(84)
二、硫素的吸收和同化.....	(86)
三、土壤和大气中的硫.....	(86)
四、棉花对硫的反应.....	(87)
五、棉花需硫诊断.....	(88)
六、硫肥施用.....	(90)
第二节 棉花钙镁营养.....	(90)
一、钙素营养.....	(90)
二、镁素营养.....	(92)
第四章 棉花微量元素营养和有益元素.....	(95)
第一节 棉花的硼素营养.....	(97)
一、植物中的硼及硼素生理效应.....	(97)
二、土壤中的硼及棉田硼肥效应分区.....	(109)
三、硼肥效应及规范化施硼技术.....	(113)
第二节 棉花锌素营养.....	(119)
一、植物中的锌及锌素生理效应.....	(119)
二、土壤中的锌及棉田有效锌.....	(128)
三、锌肥效应及施用技术.....	(132)

第三节 棉花锰素营养	(138)
一、植物中的锰及锰素生理效应	(138)
二、土壤中的锰及棉田有效锰	(142)
三、锰肥效应及施用技术	(143)
第四节 棉花铁铜钼素营养	(144)
一、铁素营养	(144)
二、铜素营养	(148)
三、钼素营养	(150)
第五节 棉花有益有害元素	(152)
一、氯	(152)
二、钠	(154)
三、钴和硒	(156)
四、铝	(157)
第五章 棉花稀土元素	(163)
第一节 棉花对稀土的反应	(163)
一、棉株体分布与含量	(163)
二、对棉花生长发育的影响	(166)
三、生理效应	(167)
四、对产量和品质的影响	(169)
第二节 土壤中的稀土元素	(171)
一、全量	(171)
二、可溶性稀土元素含量	(172)
第三节 稀土性质及施用技术	(172)
一、农用稀土产品的若干特性	(172)
二、棉花施用稀土技术	(173)
第六章 棉花营养诊断与施肥指导	(176)
第一节 样品采集技术	(176)
一、样品的灵敏度高	(177)

二、样品的代表性强	(179)
三、采样技术的两个实例	(181)
第二节 棉花营养诊断的基本理论和方法	(184)
一、诊断结果的表达方式	(184)
二、建立诊断指标的基本理论	(186)
三、建立诊断指标的基本方法	(189)
四、诊断结果的解释模式	(195)
五、棉花对肥料的响应	(197)
第三节 棉花营养诊断指标及应用实例	(198)
一、棉花营养诊断指标的特点	(198)
二、诊断指标及应用实例	(199)
三、诊断作用的评价	(205)
第七章 棉花平衡营养与平衡施肥	(209)
第一节 平衡营养与平衡施肥的含义	(209)
第二节 棉田养分输入输出平衡	(212)
一、长期定位下的土壤养分平衡状况	(212)
二、短期定位下的土壤养分平衡状况	(215)
第三节 有机肥与棉田地力培肥	(220)
一、有机肥的功能	(220)
二、扩大有机肥料的来源	(224)
第四节 棉花平衡施肥	(227)
一、氮素平衡模型	(227)
二、优化配方	(233)
三、配方施肥的综合效应	(240)
四、棉花平衡施肥的发展方向	(243)

第一章 总 论

光合作用和呼吸作用是绿色植物的基本生命特征。光合作用和呼吸作用构成了新陈代谢。植物生长和新陈代谢必须有元素的供应和吸收,称为营养,而有机体所需要的元素叫作营养元素^[4]。因此,营养和新陈代谢紧密相关。

第一节 棉花营养元素的定义和分类

植物体的主要成分是水,约占70%,其次是有机物质约占27%,矿物质为3%。其中矿物质是植物细胞生长,有机物质构成和新陈代谢所必不可少的。迄今,棉花植物体已检测出的矿质元素共有40多种。随着检测手段的进步,将来还会发现更多的元素。

一种元素是否是植物必需的营养元素,还须具备以下条件:^[2,3]

第一,这一元素的缺乏,对植物生长发育产生障碍,不能完成其生活史。

第二,除去该元素则表现专一的缺乏症,而且这种缺乏症可以由该元素预防和恢复。

第三,该元素在植物营养生理上应表现出直接的效果。例如,作为新陈代谢产物的基本组成或是某种基本酶体系活性所需要。

根据以上定义,Arnon和Stout于1939年提出的高等植

物必需的营养元素只有15种，后来证明氯也是高等植物必需的营养元素，共16种。Al、Se、Co、Na、Si和稀土元素则不是高等植物必需的元素。显然这个规定过于死板，并越来越受到冲击。如S、L、Tisdale等所著《Soil Fertility and Fertilizers》第三版（1975）和第四版（1985）〔6〕及K.蒙格尔等著《植物营养原理》〔4〕均采用Nicholas的观点：在植物代谢中的任何矿质元素，不管其作用是否专一，都称为功能养分或代谢养分(functional or metabolic nutrient)。这一定义所包含的元素相当宽广。

按照植物生理效应，可广义地把棉花植物营养元素分为三组〔4〕：

第一组：结构元素。C、H、O、N、P、S归为这一组。C、H、O主要来自大气，也来自土壤溶液，以 CO_2 、 H_2O 和 O_2 形式被植物吸收。N、S主要来自土壤溶液，也来自大气，以 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 N_2 、 SO_4^{2-} 、 SO_2 形式被植物吸收。P来自土壤溶液，以磷酸盐形式被植物吸收。

这一组元素是植物有机体构造的最基本元素。根据分类〔3〕，它们是30种基本生物分子的组成成分，即20种氨基酸、5种含氮有机碱，2种单糖、1种脂肪酸、1种多元醇和1种胺类。这30种基本生物高分子是核酸、蛋白质、纤维素及脂类等的组成。因此，C、H、O、N、P、S是有机物质的结构元素。

第二组：狭义功能元素。K、Mg、Ca、Mn、Na、Cl、Zn、Cu、Mo、Fe、B和Si归为这一组。其中K、Mg、Ca、Mn和Cl为一小组。这些元素来自土壤溶液，一般功能是参与细胞渗透调节，保持离子之间的平衡，特殊功能是维持酶蛋白质结构，以使酶的活性最佳；Zn、Cu、Mo和Fe为一小

组。这些元素来自土壤溶液的离子或螯合物，在细胞内，以螯合物形式结合于辅基内，通过变价来传递电子；B和Si为一小组。B和Si来自土壤溶液的硼酸或硼酸盐、硅酸盐，包括P在内以无机阴离子或酸根的形式被植物吸收。在植物细胞中，这些元素所存在的以上形态与天然醇类进行酯化作用，生成磷酸酯、硼酸酯和硅酸酯。

第三组：有益元素。Co、Se、Al、Na和17种稀土元素，来自土壤溶液的离子或螯合物。这些元素在植物体内的功能尚不清楚，但合理使用对生长发育和代谢具有良好促进作用，表现增产和改善品质，故称为有益元素。Al有时被认为是有毒元素。我们相信，随着研究工作的加深，将会不断认识这些元素的生理功能。

以上把元素分为三组有一些优点。首先考虑到生理代谢的需要。我们知道，到目前为止，已发现的元素有109种，这些元素大部分都可在植物体内检出^[1]。第二，一些元素正确使用能提高产量和改善品质，如原苏联使用Co和Se及我国使用的稀土元素。但若把这些元素归为植物必需营养元素尚缺乏证据，归为有益元素具有一定的合理性。

第二节 棉花生育与营养

一、全生育期

棉花一生分为播种到出苗、苗期、蕾期、花铃期和吐絮收获期。由于棉花品种熟性不同，以及采用育苗移栽与地膜覆盖促早栽培措施等，使全生育期变幅较大，约为150—200天，各期大致经历时间，分别为7—14、35—50、22—26、

50天左右和50—75天。

从播种到出苗，棉花种子经历从吸收水分膨胀到子叶展开，是棉花从异养转向自养的阶段。子指、种仁重、种子内含物包括矿物质和有机物质含量等种子品质的一些指标，对异养转向自养的时间及幼苗活力产生影响，也对种子处理产生影响。用水浸种，种子矿物质向外渗透，随着浸种时间的延长外渗物质不断增加。据 Woodstock 等（1985）测定结果⁽⁸⁾，用双蒸馏水浸种1、4和24小时总K量分别损失5.2%、9.0%和16.4%。尽管种子阳离子Na、Mg、Ca和Mn的绝对损失量不同，但损失率趋势相同。浸种时间过长对种子质量产生不利影响，外渗物质K、Na、Ca和Mg与种子发芽率和幼苗活力为负相关。由此可见，要使种子品质不致下降，幼苗活力不致变差，浸种时间宜短。相反，当用一定浓度的肥料溶液浸种时，除一些元素外渗减少外，根据平衡原理，种子吸收溶液中的元素，对提高种子品质，增加幼苗活力有利。

子叶平展到现蕾为苗期。苗期生产的中心任务是培养壮苗，达到全苗、齐苗的目标。苗期吸收的养分相对较少，但养分对培养壮苗有重要作用。一些元素如K和Cu有利于增强幼苗抗病能力，提高棉苗活力。棉苗三叶期缺磷，后期也难以弥补，称为营养临界期。苗期对氮反应也很敏感，据¹⁵N分析⁽⁹⁾，进入自养后的胚根就开始吸收环境中的氮。如果苗期供氮不足对纤维品质将产生不利影响。由于苗期营养的重要性，棉花生产中要求肥料种子处理（浸种或拌种），基施，把富含养分的肥土作为育苗的土壤。

棉花见蕾到开花为蕾期。蕾期棉花生长的基本特点是营养生长与生殖生长并进，但以营养生长为主。此时气温升高，雨量适宜，土壤微生物活动旺盛，养分释放快，加上根

系入土达到一定深度，棉花吸收养分增加。棉花生产要求蕾期稳长，N素养分吸收要适当，以调节营养生长与生殖生长平衡发展有利于增蕾。故一般棉田在蕾期少施肥料。

棉花见花到第一个成铃开裂为花铃期。花铃期持续时间较长，棉花陆续现蕾、开花和结铃，枝叶仍在不断生长。这一时期的基本特点是营养生长和生殖生长并进，并逐渐转向以生殖生长为主。生长发育和内部代谢活动十分旺盛，养分吸收达到一生中的高峰。由于养分吸收强度、养分元素之间的比例关系、养分吸收持续时间长短及其峰值高低与产量的关系十分密切，故这一时期是营养效率最大时期。为了满足棉花营养生长和生殖生长的养分需要，棉花生产十分强调重施花铃肥。

棉花正常铃开裂到见白絮时为吐絮期。吐絮期以生殖生长为主，棉株根叶逐渐转向衰老，养分吸收能力下降，吸收强度减弱。但是若养分吸收下降过快，时间过早，棉花易早衰。为了防止早衰，生产上在重施花铃肥基础上提倡叶面喷施肥料。

二、产量与养分吸收

棉花单株养分总吸收量随生长发育的延长而上升，呈渐进线，不同产量吸收养分积累量的动态变化规律基本一致（图1-1）。单位面积养分总吸收量随产量的增加而增加，但不是成比例增加（表1-1）。从归纳历年资料可见，每生产第一个50公斤皮棉的养分总吸收量为19.63公斤，生产第二个50公斤皮棉（101.6）养分总吸收量为31.36公斤，产量成倍地增加，而总养分吸收量增加不到60%。这一方面表

明,每生产50公斤皮棉的养分总吸收量随产量的提高而降低,养分利用率随产量的提高变得更经济。另一方面,单位养分生产皮棉的数量随产量的提高而渐近增多,表明产量和养分吸收之间都没有达到顶点,在促进养分吸收的同时,应尽最大可能提高养分利用率以增加产量。

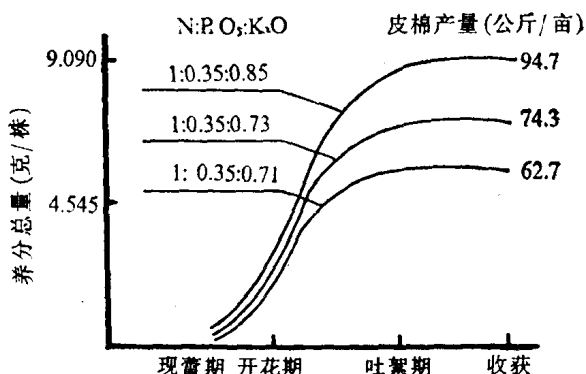


图1-1 棉花一生养分积累量的动态变化

表1-1 棉花不同产量水平养分吸收量与公斤养分生产皮棉数量⁽¹⁾

皮棉 产量 (公斤 /亩)	实际吸收量 (公斤/亩)				50公斤皮棉吸收的养分 (公斤)				每公斤 养分生 产皮棉 (公斤)
	总量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	总量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
49.3	19.63	8.73	3.16	7.74	19.81	8.86	3.21	7.74	2.5
76.0	24.72	10.70	3.32	10.70	16.36	7.04	2.28	7.04	3.1
101.6	31.36	13.35	4.66	13.35	15.32	6.54	2.24	6.54	3.2
126.8	37.30	15.98	5.34	15.98	14.65	6.25	2.10	6.30	3.4

三、养分吸收强度与平衡

比例是平衡的一种表达方式。早在1946年Shear等就提出了营养(养分)元素平衡的概念。当各种环境因素都处在最佳时,植物生长为营养的两个变量——强度和平衡的函数^[7]。强度指某种营养元素的浓度,平衡指一必需营养元素的浓度与其它必需营养元素浓度的比例关系。由于棉花生育不可能处在最佳环境条件下,因此养分吸收强度与平衡都是相对的。

从图1-1看出,三种产量水平养分吸收强度呈现明显的层次关系。养分吸收强度大,产量高。这不仅反映在成熟棉株上,也反映在生长发育过程中。平衡揭示营养元素在棉花生理代谢中的状态。某种养分元素的强度很大或很小,与其它养分元素之间不能保持正常的比例关系,就会引起生理代谢的紊乱。在营养诊断上,某种元素强度过大称为奢侈消耗,过小则称为缺乏或不足。虽然不同产量水平的养分元素浓度呈现明显的层次关系,但用平衡来表示时则趋向一个常数。如中国、美国和原苏联的研究结果,虽然产量水平差别很大,但棉花对N与 P_2O_5 的吸收比例呈 $1:0.33\sim0.35$ 的关系,N与 K_2O 的比例变化大一些,波动范围在 $1:0.71\sim1.10$ 之间。一般规律是随产量的提高,钾吸收比例呈增多的趋势。

、 基质养分平衡制约植物养分平衡。基质某一必需元素所处的平衡,当它的强度发生改变(增加或减少)都将导致减产。所以施肥旨在不断地提高基质必需养分元素的最佳强度,并不断地调整必需元素之间的平衡,以利于持续稳定地