

中国棉花的养分管理

陈防^{1,2} 汪霄²

(1. 国际植物营养研究所中国项目部, 中国武汉, 430074; 2. 中国科学院武汉植物园, 中国武汉, 430074)

摘要: 为了提高棉花生产中养分管理效率, 实现国家减肥增效的战略目标, 本文通过收集整理各方面资料, 从世界和中国棉花生产概况、棉花的生长习性、我国棉花栽培与养分管理中的主要问题、棉花的需肥规律和施肥原则、棉花叶面肥的施用方法及后期管理等方面对我国棉花生产中存在问题进行了分析、对多年来国际植物营养研究所国际合作项目中棉花作物养分管理方面的研究成果和成功经验进行了整理, 提出了相应的现代农业中棉花养分管理对策与技术。

关键词: 棉花; 施肥; 养分效率; 养分管理对策

1 世界和中国的棉花生产简况

棉花 (Cotton), 锦葵科棉属 *Gossypium* L. 植物, 是由种子生产纤维的经济作物。棉纤维是纺织工业的主要原料, 棉籽是食品工业的原料, 棉短绒也是化学工业和国防工业的重要物资。棉属有 4 个栽培种: 草棉、亚洲棉、陆地棉和海岛棉。陆地棉占世界棉花总量的 90%, 海岛棉占 5–8%, 亚洲棉占 2–5%。

世界棉花栽培已有 1100 多年的历史, 全球自 47°N 至 32°S 的地区 70 多个国家均有棉花种植, 年产皮棉 100 万吨以上的国家有中国、美国、俄罗斯和印度; 年产皮棉 40–80 万吨的国家有巴基斯坦、巴西、埃及和土耳其。20 世纪 50 年代以来, 世界棉花种植总面积稳定在 3,200 万公顷。

中国的棉花在 18°N 至 46°N 的地区都有种植, 主要分布在黄河流域、长江流域和新疆。1946–1949 年, 中国年产皮棉仅 40 万吨左右, 在此之后, 棉花的总产量和单产增长迅速, 1984 年皮棉总产达 607.7 万吨, 2010 年达 596 万吨, 约占世界棉花总产量的 1/4, 成为世界棉花生产的第一大国, 而且纤维品质有所提高, 平均纤维长度比 1949 年增长 4–7 毫米, 衣分增加 3–5%^[1-2]。

根据 2010 年的统计资料^[2], 黄河流域棉花种植区面积占全国总面积的 39.7%, 占全国总产的 31.4%, 单产皮棉平均 71 公斤/亩, 主要种植省份有山东、河北、河南; 长江流域棉花种植区面积占全国总面积的 27.9%, 占全国总产的 24.4%, 单产皮棉平均 76 公斤/亩, 主要种植省

份有湖北、安徽、江苏、湖南; 新疆棉花种植区面积占全国总面积的 30.1%, 占全国总产的 41.6%, 单产皮棉平均 113 公斤/亩。

2 棉花的生长习性

棉花生育时期一般 130–175 天。共经历五个生育期: 1. 播种出苗期, 需经历 10–15 天; 2. 苗期需经历 40–45 天; 3. 蕾期需经历 25–30 天; 4. 花铃期需经历 50–60 天; 5. 吐絮期需经历 30–70 天。棉花喜温好光, 最适宜气温为 25–30℃, 每日最佳光照时间为 12 小时。

适宜土壤条件对棉花生长非常重要, 棉花喜爱土层深厚, 土壤肥沃、质地疏松的土壤。一般土壤温度以 18–25℃ 为宜, 土壤水分含量为田间持水量的 60–70% 为宜, 适宜的土壤 pH 值为 6.5–8.5。

3 我国棉花栽培与养分管理中的主要问题

我国棉花种植中的养分管理问题与其他作物类似, 既有许多共同之处, 也有自身特点。主要表现在下列几方面:

3.1 氮肥和磷肥的施用量和施用比例偏高, 而钾肥、微量元素肥料 (如硼肥和锌肥)、有机肥用量偏少甚至完全不施。棉花产区经常可以看见由于缺钾引起的落花落铃和叶缘卷曲, 由于缺硼引起的落花落果和叶柄环带, 由于缺铁、缺锌引起的黄叶病和小叶病。

3.2 棉花追肥方式不合理，肥料撒施多，特别是在浇水和下雨前撒施，容易造成肥料流失，利用效率低。

3.3 棉花种植模式多年不变，连作障碍明显，有些传统棉区的连作病害如枯萎病等发生的频率越来越大，棉花产量和品质均受影响。

3.4 深耕和冬耕减少。由于目前我国还是以小农户经营为主，棉花种植中农业机械化程度不高，棉田翻耕时多数用小型旋耕机，其土壤翻耕深度一般为 12-15 厘米，导致耕层变浅，土壤板结。有研究表明，深耕至 25-30 厘米后，当季皮棉产量可提高 6.5-18.3%。另外，冬耕还可以消灭部分病菌和虫蛹，减轻土传病虫害。

3.5 棉花新型肥料及其配套施用技术应用少。目前棉花种植中虽然已普遍推广施用棉花专用复混肥、配方肥，但是一些新型商品肥料如缓控释肥、水溶性肥、尿素硝铵液体肥 (UAN) 和生物肥等应用面积还很小。要实现棉花栽培中的水肥一体化，大幅度提高水分和肥料资源的利用效率还有很长的路要走。在棉花生产的机械化进程中，与机械操作相配套的肥料产品和施肥技术也缺乏相应研究和示范。

3.6 棉花生产过程中的信息化管理和农化服务水平低，体系不健全。棉农往往在最需要的时候得不到技术咨询、买不到需要的肥料，造成肥料的施用不当和浪费，甚至污染环境。

4 棉花的需肥规律与施肥原则

棉花产量不同，需要的氮、磷、钾数量也不同。一般每生产 100 公斤皮棉，约需吸收 N 12-18 公斤， P_2O_5 4-6 公斤， K_2O 12-16 公斤，其 $N : P_2O_5 : K_2O \approx 100 : 33 : 100$ 。随产量的提高，该需肥量有减少的趋势。因此，提高产量不是单纯依靠肥料因素，而是各项栽培措施综合作用的结果。不同生育时期，棉花吸收氮、磷、钾的数量也不同。棉花对氮的吸收，在出苗至现蕾期占全生育期氮吸收的 5% 左右，现蕾至开花期占 10% 左右，开花期最多，约占 55% 左右。对磷、钾的吸收量，则表现为前期少、中后期多，开花后磷、钾吸收量分别占全生育期的 70% 和 80% 左右。

棉花种子含氮 2.8-3.5%，纤维含氮 0.28-0.33%，

表 1 不同棉区根据目标产量确定的施肥量

肥力等级	目标产量 (公斤/亩)	推荐施肥量(公斤/亩)		
		N	P_2O_5	K_2O
长江流域棉区				
低肥力	80	16	5	9
中肥力	100	19	6	12
高肥力	120	21	7	15
西北棉区				
低肥力	120	14	9	2
中肥力	150	18	12	3
高肥力	180	22	15	4

表 2 长江流域棉区根据土壤测定值的磷钾肥推荐施用量及施用方法

速效 P (毫克/公斤)	P_2O_5 用量 (公斤/亩)	施用方法	速效 K (毫克/公斤)	K_2O 用量 (公斤/亩)	施用方法
<10	7-9	基肥花铃肥各半	<50	9-12	基肥花铃肥各半
10-20	5-7	基肥花铃肥各半	50-100	6-9	基肥花铃肥各半
20-30	3-5	基肥	100-150	4-6	基肥
>30	1-2	基肥	>150	1-3	基肥

表 3 棉田土壤有效硼、有效锌含量分级指标

微量元素 (毫克/公斤)	含量等级		
	低	中	高
有效 B	<0.4	0.4-0.8	>0.8
有效 Zn	<0.7	0.7-1.5	>1.5

茎秆含氮 1.2—1.8%，是含氮较高的作物。研究结果表明，皮棉产量水平为 63—95 公斤/亩时，棉株出苗至现蕾期积累的 N 约占总累积量的 4.5%，现蕾期至开花期约占 27.8—30.4%，开花期至吐絮期约占 59.8—62.4%，吐絮期至收获约占 2.7—7.8%^[3]。棉花积累氮最多的时期为开花至吐絮期，成熟棉花植物体各器官氮的分布是生殖器官高于营养器官。棉花缺氮时先是下部老叶变黄，然后蔓延全株，叶色转红棕并干枯，植株矮小，枝条稀弱，减产严重。但氮肥施用过多也会引起棉花徒长，贪青晚熟，加重病虫害发生，影响产量和品质，降低肥效并增加面源污染风险。

棉株吸收积累的磷，出苗至先蕾期约占总累积量的 3—3.4%，现蕾期至开花期约占 25.3—28.7%，开花期至吐絮期约占 64.4—67.1%，吐絮期至收获约占 1.1—6.9%^[3]。棉花幼苗期 2—3 片真叶前后对磷素敏感，幼苗缺磷时植株矮小，叶片小，叶色暗绿，叶柄含 P 一般小于 50 毫克/公斤。现蕾期棉花功能叶含磷低于 2.8 克/公斤（干重）为缺乏，大于 3 克/公斤为正常。棉花对磷的吸收高峰在开花期，花铃期棉株叶柄含 P 小于 50 毫克/公斤时表示缺磷。磷肥施用最好是与氮钾肥和有机肥配合集中深施，主要用于基肥^[4]。

棉花需钾量大，但钾利用率偏低，植株出苗至现蕾期吸收的钾占总吸钾量的 3.7—4%，现蕾期至开花期占 28.3—31.6%，开花期至吐絮期占 61.6—63.2%，吐絮期至收获期占 1.2—6.3%^[3]。棉花缺钾时生长显著延迟，叶缘卷起，叶脉间出现红褐色斑点，叶尖发黄变褐，焦枯脱落，抗性降低，不仅严重减产，而且棉纤维品质明显下降。现蕾期上部新展开的功能叶 K 含量低于 16 克/公斤（干重）为缺乏，初花期低于 14 克/公斤（干重）为缺乏，花铃期低于 6 克/公斤（干重）为缺乏。一般长江流域棉区土壤速效钾含量低于 100 毫克/公斤时就需要施用钾素肥料，钾肥的施用以集中早施、基施为宜，在质地较轻的土壤可以分 2—3 次施用^[4]。

微量元素在棉株生长中的作用是不可替代的，一般 B、Zn 各占棉株干重的 0.003%，Mg 占 0.005%，Cu 占 0.001%，Fe 占 0.03%。每亩产皮棉 74 公斤以上的棉花，需吸收 B 0.397 公斤，Zn 0.205 公斤，正常棉株含 B 量为 19.6 毫克/公斤，正常棉花幼苗的含 Zn 量为 26.71 毫克/公斤^[5]。

棉花需肥量大，生育期长，施肥次数多。要想科学、经济施肥，在肥料的搭配上应掌握以基肥为主，追肥为辅；有机肥为主，化学肥料为辅；氮磷钾肥配合的原则。

在施肥时期上，要施足基肥（一般约占总施肥量的 60%），根据棉花不同生育时期的需肥特点，掌握“轻施苗肥，稳施蕾肥，重施花铃肥，补施盖顶肥，适时喷施叶面肥”的原则。表 1 显示了在长江流域棉区和西北棉区，根据目标产量和土壤肥力情况确定的氮磷钾肥参考施肥量。表 2 示意长江流域棉区根据土壤测定值确定的磷钾肥推荐施用量及施用方法。表 3 为棉田土壤有效硼、有效锌含量分级指标，一般土壤分析结果显示低时，可以考虑施用硼肥或锌肥^[6]。

当土壤有效 B 低于 0.4 毫克/公斤时，每亩可苗期追施施用硼砂 0.4—0.8 公斤，或在蕾期、初花期和花铃期连续喷施 3 次，每次以 2% 浓度加水 60 公斤。当土壤有效 Zn 低于 0.7 毫克/公斤时，每亩可基施硫酸锌 1—2 公斤。或在苗期至花铃期连续喷施 2—3 次，每次浓度 0.2% 的水溶液 60 公斤。

5 棉花叶面肥的施用方法及后期管理

由于叶面施肥具有效率高、肥效快、操作方便、可与灌溉和打农药相结合等优点，它已成为棉花养分管理的一个重要部分，因此，采用合适的方法很有必要。

苗期喷肥：苗期叶部喷肥，能促使棉苗早发，促使弱苗转化为壮苗，并能控制株高，防止徒长。一般每亩选喷 1% 的尿素和 1%—2% 的过磷酸钙浸泡过滤液混合液 50—75 公斤。

蕾期生长正常的棉田，可用磷酸二氢钾 300—500 倍液加适量锌肥喷施；棉株增长高峰出现在开花前，营养生长过快，会提早封行，增加中下部的蕾铃脱落，这类棉田需要喷施抑制剂，控制棉株主茎和果枝顶端生长。可在棉花蕾期，每亩用缩节胺或调节胺 1.5 克，兑水 50 公斤喷洒。

花铃期喷肥：棉花花铃期需肥量大，是形成产量的关键时期。植株矮小，根系不发达，叶色暗中有紫的棉田，每亩喷 2% 的过磷酸钙或 0.2%—0.3% 的磷酸二氢钾溶液 60 公斤，能减少蕾铃脱落和壮桃促绒的作用。生长不旺，叶色淡黄时，可喷洒 1% 的尿素溶液 50 公斤。

吐絮期喷肥：棉花吐絮期，营养生长几乎停止，叶片逐渐衰老，根部吸收肥水的能力减弱。脱肥早衰的棉花，每亩可喷洒 1%—1.5% 的尿素溶液 60—75 公斤；生长正常或长势偏旺的棉田，喷施 2%—3% 的过磷酸钙浸出液 60—75 公斤，既防早衰，又促早熟。贪青晚熟的棉花，开始采收时，用 40% 的乙烯利 100—150 克，兑水 30 公斤喷洒，以促进棉花早熟，提高棉花的等级。

棉花后期管理：整个9月份，上部棉铃都还在继续生长充实，到10月下旬采收完毕，还有50多天的时间，如放松了管理，仍可能遭受重大损失。对于因缺钾造成的早衰棉田，如果上部还有挺立的绿叶或还有部分早衰程度轻的棉株，可再喷一次2%的硫酸钾肥溶液。

6 棉花平衡施肥效果与对策

1990—1995年，国际植物营养研究所(IPNI)中国项目部在全国三大棉区开展了90个棉花平衡施肥田间试验，较全面地研究了平衡施肥对主产区棉花的影响和效果，建立了全国棉花试验数据库，并通过田间示范田、技术培训和新闻媒体等不同形式进行了大面积的技术示范和推广。这些前期的研究结果为目前进一步实施IPNI的4R养分管理策略和应用开发棉花养分管理专家系统(Nutrient Expert[®])打下了良好基础。

棉花肥效试验的统计结果表明，新疆棉区的平均推荐施肥量为 $N - P_2O_5 - K_2O = 15.7 - 9.8 - 5.1$ 公斤/亩，棉花施氮处理平均产量为312公斤/亩，比不施氮处理增产18.5%，氮肥农学效率为3.01公斤/公斤N；施磷处理平均产量为299公斤/亩，比不施磷处理增产14.7%，磷肥农学效率为3.50公斤/公斤 P_2O_5 ；施钾处理平均产量为303公斤/亩，比不施钾处理增产14.3%，钾肥农学效率为7.45公斤/公斤 K_2O 。长江流域棉区的统计结果表明，该区的平均推荐施肥量为 $N - P_2O_5 - K_2O = 18.7 - 8.5 - 15$ 公斤/亩，棉花施氮处理平均产量为268公斤/亩，比不施氮处理增产12.2%，氮肥农学效率为1.53公斤/公斤N；施磷处理平均产量为261公斤/亩，比不施磷处理增产5.52%，磷肥农学效率为1.43公斤/公斤 P_2O_5 ；施钾处理平均产量为261公斤/亩，比不施钾处

理增产18.3%，钾肥农学效率为2.46公斤/公斤 K_2O 。华北棉区的统计结果表明，该区的平均推荐施肥量为 $N - P_2O_5 - K_2O = 16 - 3 - 9.3$ 公斤/亩，棉花施氮处理平均产量为251公斤/亩，比不施氮处理增产7.26%，氮肥农学效率为1.06公斤/公斤N；施磷处理平均产量为251公斤/亩，比不施磷处理增产4.50%，磷肥农学效率为3.60公斤/公斤 P_2O_5 ；施钾处理平均产量为253公斤/亩，比不施钾处理增产15.4%，钾肥农学效率为3.48公斤/公斤 K_2O 。

以上结果表明，三个棉产区中棉花推荐施肥量以长江流域最大，比华北棉区和新疆棉区分别高49.3%和37.9%，但棉花单产则是新疆棉区最高，比华北棉区和长江流域棉区分别高21.2%和15.6%，区位优势明显。三个棉区钾肥的增产效果和农学效率均最高，其次是磷肥，氮肥最低，说明钾肥的施用必须引起重视，“控氮、稳磷、增钾”的施肥策略对大部分棉区是适用的。从各棉区目前具体肥料用量来看，长江流域棉区的钾肥用量还可增加10%左右，华北棉区的磷肥用量还可增加10—20%，新疆棉区的钾肥用量还可增加20%左右。

目前国际植物营养研究所中国项目正在全国范围内研究开发棉花养分管理专家系统(Nutrient Expert[®])，该系统是在遵循4R养分管理策略的前提下，以经过实际验证的数学模型和计算机程序为手段，以大量的自然环境背景资料和当地作物种植的关键数据为基础，充分考虑和利用土壤本身的肥力条件和养分资源、作物类型、轮作制度及肥料的种类，在作物需要时给予施肥推荐的一种作物养分管理专家系统，具有与作物反应的相关性好、操作简便、及时，价格低廉、可利用网络进行推荐施肥等优点，已在世界的许多国家和我国许多地区进行推广。

参考文献

- [1] 何康，刘瑞龙主编. 中国农业百科全书(农作物卷)[M]. 北京：中国农业出版社，1991.
- [2] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴[M]. 北京：中国农业出版社，2011.
- [3] 李俊义，刘荣荣主编. 棉花平衡施肥与营养诊断[M]. 北京：中国农业科技出版社，1992.
- [4] 姜存仓，陈防主编. 棉花营养诊断与现代施肥技术[M]. 北京：中国农业出版社，2011.
- [5] 中国农业科学院土壤肥料研究所主编. 中国肥料[M]. 上海：上海科学技术出版社，1994.
- [6] 鲁剑巍主编. 测土配方与作物配方施肥技术[M]. 北京：金盾出版社.2010.