

我国棉花施肥研究进展

董合林

(中国农业科学院棉花研究所,农业部棉花遗传改良重点开放实验室,河南安阳 455000)

摘要:论述了近50年来我国主要棉区肥料效应的演变及棉花需肥规律和施肥技术等方面的主要进展。指出我国棉花肥料研究与施用大体经历了三个阶段,即上世纪50年代有机肥与氮肥配合施用阶段,60年代有机肥与氮、磷化肥配合施用阶段,70年代以来的有机肥与氮、磷、钾及微量元素肥料平衡施用阶段。同时为了更好地确定合理的施肥时期、施肥量及不同肥料配比,在不同时期相应开展了棉花营养特点与需肥规律研究。

关键词:棉花;施肥技术;进展

中图分类号:S562.06 **文献标识码:**A

文章编号:1002-7807(2007)05-0378-07

Research Progress on Fertilization Technology of Cotton

DONG He-lin

(Cotton Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Cotton Genetic Improvement, Ministry of Agriculture, Anyang, Henan 455000, China)

Abstract: The article discussed the main progress of the evolution of fertilizer effect in main cotton production regions in China, the rule of requirement of fertilization and technique of applying fertilizer, etc. In 1950s, applying organic matter and nitrogen fertilizer could increase yield substantially. Because of the increase in application of nitrogen and cotton yield in 1960s, the lack of soil phosphorus became prominent in a part of cotton-production regions in middle and lower region of the Yangtze River and the effect of phosphorus in calcareous soil appeared gradually in Huanghuaihai cotton-production regions. The lack of potassium became widespread in cotton-production regions in middle and lower reaches of the Yangtze River in 1970s and the effect of applying potassium is obvious, but the symptoms of lacking Zn, B, and other trace elements began to appear in part of cotton-production regions. The lack of soil phosphorus became a limitative factor of cotton yield in Huanghuaihai cotton-production regions, there were striking effects by applying phosphorus fertilizer, especially in middle-low productive farmland of Shandong and Henan. At the same time, there were better production increasing effects by applying potassium fertilizer in Huanghuaihai cotton-production regions and the lack of soil potassium in cotton farmland became increasingly obvious with the increase of applying potassium fertilizer and the area of wheat cotton double cropping. Corresponded with soil nutrient status and the evolution of fertilizer effect, there were three periods during the study and application of fertilization in cotton farmland approximately in China in recent 50 years, the first was the period of combined application of organic matter and nitrogen fertilizer in 1950s, the second was the period of combined application of organic matter, nitrogen and phosphorus fertilizer in 1960s, the third was the period of balanced application of organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium and other trace elements fertilizer after 1970s. At the same time, the study of nutritive characteristics and the rule of re-

收稿日期:2007-07-08 **作者简介:**董合林(1964-),男,副研究员, donghl@cricaas.com.cn

基金项目:科技部公益基金项目(2005DIBJ046)

quirement of fertilization of cotton began to develop in different periods to determinate reasonable period, quantity and different prescription of applying fertilizer.

Key words: cotton; fertilization technology; prospect

1 棉花需肥规律研究

1.1 长江中下游棉区棉花需肥规律

贾仁清等^[1]研究了不同施氮水平棉花的养分吸收动态。三种施氮水平棉花的养分吸收动态具有基本相同的趋势,即苗期氮素吸收百分率最低,蕾期明显增加,花铃期最高,吐絮期渐趋减少;磷素不同生育期的吸收百分率,苗、蕾期低于氮、钾,开花期后吸收百分率达到 80%左右,高于氮、钾;钾素不同生育期的吸收百分率,苗期、蕾期显著高于氮、磷,花铃期仍较高,而吐絮期明显下降,显著低于氮、磷。棉株氮、磷、钾吸收量均随施氮量的增加而增加,但氮、钾吸收量增加的幅度较大,而磷的吸收量只有较小幅度增加。高氮水平皮棉产量为 1396.5 kg·hm⁻²,棉花一生吸收 N、P₂O₅、K₂O 总量分别为 260.9, 80.0 和 213.4 kg·hm⁻², N:P₂O₅:K₂O=1:0.31:0.82。

1.2 黄淮海棉区棉花需肥规律

李俊义等^[2]研究了中熟棉花品种高、中、低三种产量水平的养分吸收规律。三种产量水平棉花的养分吸收动态基本一致,即苗期养分吸收最低,蕾期明显增多,花铃期最高,吐絮期后显著降低。三种产量水平棉花各生育时期氮、磷、钾的吸收百分率,总体趋势为苗期接近,蕾期和花铃期产量水平高的较低,但吐絮期后低产水平棉花明显降低。根据棉花养分吸收量与生育天数之间的数学模型,三种产量水平棉花一生吸收氮、磷、钾养分的最大加速率(高峰期始点)分别出现在开花期前 4 d、5 d 和 6 d,产量偏低棉田出现的较早。不同产量水平棉花一生吸收的氮、磷、钾养分的数量及比例不同,随着皮棉产量的提高,氮、磷、钾的吸收量均增加,磷素比例基本不变,而钾素比例在高产水平时显著增加。皮棉产量 1420.5 kg·hm⁻², N、P₂O₅、K₂O 吸收量分别为 183.0、64.1、156.0 kg·hm⁻², N:P₂O₅:K₂O=1:0.35:0.85。又据李俊义等^[3]报道,黄淮海棉区早熟棉花品种养分吸收高峰期在出苗后 36~69 d,养分吸收速率最大值在出苗后第 53 d。与中熟品种比较,其生育前期养分吸收速率较大,吸收百分率相对较高,最大养分吸收速率出现较早。董合林等 2004 年研究结果,常规抗虫棉品种氮、磷、钾养分吸收高峰

期分别在出苗后 72~111 d、77~126 d、71~118 d,最大吸收速率分别出现在出苗后 92 d、102 d、95 d。皮棉产量 1362 kg·hm⁻²,棉株 N、P₂O₅、K₂O 吸收量分别为 213.8、79.2、203.4 kg·hm⁻², N:P₂O₅:K₂O=1:0.37:0.95。与中熟常规棉相比,其氮、磷、钾养分吸收高峰期出现较晚,需肥量较大,尤其是钾素。

1.3 新疆棉区棉花需肥规律

吴维模等^[4]研究结果,南疆高产棉花(2256 kg·hm⁻²)氮、磷、钾养分吸收的高峰期分别在出苗后 51~92 d、50~103 d 和 62~94 d,最大吸收速率分别在出苗后 73 d、76 d 和 76 d; N、P₂O₅、K₂O 吸收量分别为 263.9, 68.6, 334.7 kg·hm⁻², N:P₂O₅:K₂O=1:0.26:1.27。张旺锋等^[5]研究了北疆高产棉花养分吸收特性,棉株氮、磷最大吸收速率在出苗后 75~76 d,钾的最大吸收速率在出苗后 80~81 d;氮、磷、钾养分吸收的高峰期分别在出苗后 58~93 d、59~90 d、63~97 d,这时棉株处于开花期前后到盛花结铃期;皮棉产量 1824~1932 kg·hm⁻²,棉花从土壤中吸收 N 245.0~270.1 kg, P₂O₅ 72.4~75.5 kg, K₂O 为 269.5~271.9 kg·hm⁻², N:P₂O₅:K₂O=1:0.29:1.05。

综上所述,不同棉区棉花吸收养分的动态既有相同的趋势,但又有明显的差异。(1)长江流域、黄河流域和新疆棉区,棉花吸收氮、磷、钾养分的高峰期均在花铃期,花铃期养分吸收百分率一般在 60%以上,大幅度高于苗期、蕾期和吐絮期。(2)一般生育正常的棉株吸收氮、钾素以前、中期为多,吸收高峰出现较早,而吸收磷素以中、后期为多,吸收高峰出现较晚,而且氮、钾的吸收高峰期比磷素的短。(3)不同施肥或产量水平的棉花养分吸收的动态和数量具有明显差异,一般施肥量少的或产量低的棉田,其棉株吸收养分的总量也少,而且前期吸收百分率相对增高,这与该类棉花后期易早衰有关;施肥量多的或产量水平高的,吸收养分的总量也较多,且中、后期养分吸收百分率相对较高。(4)由于长江中下游、黄淮海和新疆棉区的生态条件、棉花生长发育特点和产量水平不同,新疆棉区养分吸收高峰期出现最早,单位面

积吸收的养分总量最大;长江中下游棉区养分吸收总量低于新疆棉区,高于黄淮海棉区;但新疆棉区单位产量所需养分最低,黄淮海棉区次之,长江中下游棉区最多。

2 棉花肥料效应及施用技术研究

2.1 有机肥效应及棉田绿肥栽培利用研究

从上世纪50年代末开始,我国棉花肥料学研究人员开展了大量的有机肥效果研究。结果表明,瘠薄棉田有机肥的增产效果显著,而肥沃棉田有机肥的增产效果较差。张毓锺等^[6]试验,上等地力棉田施用 $3.75 \text{万 kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 厩肥,仅增产4.3%;中等地力棉田施用 $3.75 \text{万 kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 厩肥,增产7.4%;而1961年在瘠薄棉田施用厩肥 $7500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $15000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 两个处理,分别比对照增产15.2%和18.2%。又据张毓锺等^[7]在瘠薄棉田连续4年的定位试验结果,1961—1964连续施用 7500 、 $15000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 厩肥,分别比对照增产15.5%和55.4%。

陈兵林等^[8]有机、无机肥不同年限配合施用试验,在氮、磷、钾养分总量基本相同条件下,随着配施鸡粪年限的增加,增产效果加大。第3年配施鸡粪与对照(3年只施无机肥)产量差异不显著,增产率只有1.6%;第2~3年连续两年配施鸡粪与对照、第3年配施鸡粪的产量均达到显著水平,分别增产25.4%和23.4%;连续3年配施鸡粪与对照、第3年、第2~3年配施鸡粪的产量均达到显著水平,分别增产50.0%、47.6%、19.7%。

为培肥地力,扩大有机肥肥源,从20世纪60年代初开始我国棉花科研人员开展了棉田绿肥栽培利用研究。王天让等^[9]试验,棉田秋季套种毛叶苕子、光叶紫花苕子、紫花苜蓿和黄花草木樨,来年棉花播前翻压,棉花增产11.0%~25.3%,其中以套种毛叶苕子的增产效果最好,尤其是毛叶苕子以磷肥作种肥和毛叶苕子与意大利黑麦草混播处理,光叶紫花苕子次之,紫花苜蓿较差。棉花生长前期间作春性豌豆品种(当年早春播)和半冬性豌豆品种(翌年秋播),豌豆秸秆还田,与不间作豌豆相比,除分别收获豌豆种子 315 、 $952.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 外,棉花分别增产6.8%和9.6%。适当放宽棉花行距,间作速生春季绿肥香豆子,生长2个月月在棉花现蕾前可产绿肥 252.5 ~ $338.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增产子棉30.9%~44.4%。徐国贤等^[10]试

验,连续3年上年棉行套种毛叶苕子(来年棉花播前掩青)和棉花苗期间套种怪麻(棉花初花期掩青作追肥),第一年均没有增产效果,第2年分别增产8.2%和6.7%,第3年分别增产3.0%和15.1%。唐耀升等^[11]试验,蚕豆套种棉花,豆秸掩理和不掩理分别增产13.1%和8.7%。

2.2 氮肥效应及施用技术研究

张毓锺等^[6]试验,中上等肥力棉田在不施用有机肥(厩肥)的条件下,施用硫酸铵 187.5 、 375 、 $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,分别比不施肥增产12.6%、18.8%、15.8%;但在基施厩肥 $3.75 \text{万} \sim 15.0 \text{万 kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的基础上,氮肥的增产效果较小,平均增产3.4%~9.8%,且随着厩肥施用量的增大而降低。据张毓锺等在瘠薄棉田上进行的有机肥与氮肥配合施用1年和4年定位试验^[7],1964年当年追施 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 硫酸铵比不施肥对照增产24.0%,基施 $7500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 厩肥并追施 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 硫酸铵比只基施 $7500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 厩肥增产21.0%,基施 $1.5 \text{万 kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 厩肥并追施 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 硫酸铵比只基施 $1.5 \text{万 kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 厩肥增产56.0%;1961—1964年定位试验结果,连续追施 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 硫酸铵比不施肥对照增产47.3%,连续基施 $7500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 厩肥并追施 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 硫酸铵比只基施 $7500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 厩肥增产56.7%,连续基施 $1.5 \text{万 kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 厩肥并追施 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 硫酸铵比只基施 $1.5 \text{万 kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 厩肥增产63.1%。可见,在瘠薄棉田上氮肥的效果非常显著,氮肥与有机肥配合施用效果更佳,且随着施用年限的增加其效果越来越明显。

棉花经济施用氮肥协作组于1984—1986年在山东、河南、山西、湖北、江苏、上海6个省(市)进行了棉花经济施用氮肥关键技术研究^[12],基本明确了长江中下游两熟棉区和黄淮海一熟棉区不同土类、不同地力水平棉田皮棉产量 $900 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以下、 $900 \sim 1125 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $1125 \sim 1500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的氮肥增产效果、经济合理用量和施用时期。在当时的土壤肥力和生产条件下,80%以上的棉田施用氮肥有明显的增产效果,增产幅度为6%~20%,其中肥力较低的低产棉田,增产效果较大。其中长江中下游两熟棉区,在合理施用氮肥的情况下,中等地力棉田,每公斤纯氮增产皮棉 2.0 g 左右;黄棕壤低产棉田,每公斤纯氮增产皮棉 2.9 kg 左右;江苏沿海地区中等地力盐化潮土类棉田,每公斤纯氮增产皮棉 1.9 kg 左右。黄淮

平原一熟棉区,在合理施用氮肥情况下,中等偏上地力潮土类棉田,每公斤纯氮增产皮棉 1.3 kg 左右;中等地力潮土及褐土类棉田,每公斤纯氮增产皮棉 1.6 kg 左右;偏低地力褐土化潮土及褐土类棉田,每公斤纯氮增产皮棉 1.8 kg 左右。两大棉区不同产量水平棉田均以施用氮(N)75~150 kg·hm⁻²经济效益最高,一般用量超过 187.5 kg·hm⁻²,其经济效益明显下降,但不同棉区、不同土类、地力和产量水平棉田也不尽相同。同时提出了氮肥的适宜施用时期和分配比例,即要尽量减少施用次数,一般 2~3 次(长江流域不宜超过 4 次);土壤肥力中、上等、质地为壤质棉田,以基施氮肥总量的 40%左右,花铃期追施 60%左右为宜;土壤肥力较差、质地偏砂棉田,氮肥可分 3 次施用,即基施 30%,蕾期和花铃期分别追施 20%和 50%。本项研究成果于 1988 年 9 月获农业部科技进步三等奖。

20 世纪 90 年代末和 21 世纪初,由于我国主产棉区棉花生产管理和单产水平提高,氮肥用量也相应有所增加。

黄淮海棉区华北平原亚区,产量水平 1125~1500 kg·hm⁻²,纯氮用量一般为 187.5~225 kg·hm⁻²。辛承松等^[13]试验,皮棉产量以施用纯氮 195 kg·hm⁻²左右产量最高,纯氮用量超过 225 kg·hm⁻²时,产量反而下降。黄淮海棉区黄淮亚区大多采用育苗移栽或移栽地膜覆盖栽培方式,皮棉产量 1500 kg·hm⁻²左右,纯氮用量一般在 225 kg·hm⁻²左右。

据胡尚钦等^[14]在四川试验结果,棉花最高产量施氮量为 247 kg·hm⁻²,经济最佳施氮量为 236 kg·hm⁻²。长江中下游棉区目前皮棉产量一般在 1500 kg·hm⁻²左右,纯氮用量一般在 225~300 kg·hm⁻²。据阿雷亚等^[15]试验,棉花经济最佳施氮量为 273 kg·hm⁻²;又据朱永歌等^[16]不同施氮量研究结果,施氮量 225,300 和 375 kg·hm⁻² 3 个施氮水平中,以 300 kg·hm⁻²的施氮水平的产量最高,分别比 225 和 375 kg·hm⁻²增产 11.0%和 3.9%。近年来由于长江中下游棉区和黄淮棉区普遍采用移栽地膜覆盖栽培模式,棉花的单产水平大幅度提高,施氮水平比以前明显增加,氮肥在适量基施的基础上,一般采用 2~3 次追肥,且追肥的数量适当后移,以保证棉花中后期的生长发育,从而增结伏桃和早秋桃,发挥单株的生产潜力^[17-19]。

李俊义等^[20]北疆试验,纯氮用量 210~345 kg·hm⁻²增产幅度为 64.7%~114.7%,每公斤纯氮增产皮棉 2.3~4.9 kg。中等偏低、中等地力、中等偏上地力棉田经济最佳施氮量分别为 332.2,303.5,281.5 kg·hm⁻²。张炎等^[21]综合新疆各地试验结果,最高产量和经济最佳产量施氮量幅度分别在 205.5~325.5 kg·hm⁻²和 162~298.5 kg·hm⁻²。

2.3 磷肥效应及施用技术研究

20 世纪 50 年代磷肥在黄河流域棉区被认为无效;但 20 世纪 60 年代,由于氮肥施用量增加和作物产量的提高,长江流域棉区部分地区土壤缺磷开始突出,黄河流域棉区石灰性土壤磷肥的效果也逐渐上升;20 世纪 80 年代后,磷肥成为黄河流域棉区增产的限制因素之一,其中山东、河南的中低产地区是全国磷肥的高效区,而长江流域棉区一些地区磷肥效果已逐渐下降。

山西省农业科学院土壤肥料研究所磷肥调查组 1961—1962 年 52 个磷肥试验^[22],其中有显著增产作用的占 40%,略有增产作用的占 40%,没有增产作用的占 20%。李文炳等^[23]综合山东主要棉区 1962—1976 年的磷肥试验结果,过磷酸钙与骡马粪混合沤制后制成颗粒施用和过磷酸钙以粉状直接施用,分别比不施磷肥平均增产 18.8%和 9.4%,前者比后者增产 8.6%;过磷酸钙以播前全部集中深施于棉花行下效果最好,基施一部分、蕾期或花铃期追施一部分及全部在苗期追施效果稍差,全部在花铃期追施效果最差,即过磷酸钙施用越晚,效果愈差。磷肥效应与土壤有效磷含量成负相关,即随着土壤有效磷含量的增加,磷肥增产效应逐渐降低,当土壤有效磷(P)含量 16.6 mg·kg⁻¹以上时,磷肥效果不佳。徐本生、贾玉珍等^[24]1981—1984 年在河南商丘、虞城等地试验,试验地土壤速效磷含量 1.9~4.9 mg·kg⁻¹,磷肥不同施用量对棉花产量均有良好效果;棉花产量随磷肥施用量的增加而逐渐递增,但随着施用量的增加,单位肥料的增产量越小,增产幅度在 10.3%~53.0%之间。邱任谋^[25]在河南驻马店、开封、南阳、周口、郑州市郊试验,氮磷配合比单施氮增产 26.3%,氮磷钾配合比氮钾增产 37.9%。孟广尧等^[26]河北黑龙港地区瘠薄棉田上试验,土壤速效磷(P)含量 4.4 mg·kg⁻¹以下的棉田增施磷肥有显著增产效果,增产幅度随施磷量的增加而提高,但单位磷肥的增产量随施磷

量的增加而递减。

肖金如等^[27]综合湖北 1951—1962 年各地施磷试验结果,在 65 次试验中,有 54 次表现增产,平均增产 9.7%,每公斤 P_2O_5 增产子棉 3.34 kg。陈学圣等^[28]湖南长沙试验,土壤速效磷含量 6.7~8.4 $mg \cdot kg^{-1}$,施磷对棉花产量的效果不明显。

李俊义等^[29]北疆氮磷配合施用试验,土壤速效磷(P)含量偏低(6.6 $mg \cdot kg^{-1}$)棉田,N 的最佳用量为 331.9 $mg \cdot kg^{-1}$, P_2O_5 最佳用量为 160.8 $mg \cdot kg^{-1}$;土壤速效磷含量中等(10.9 $mg \cdot kg^{-1}$)棉田,N 的最佳用量为 305.1 $mg \cdot kg^{-1}$, P_2O_5 最佳用量为 98.5 $mg \cdot kg^{-1}$;土壤速效磷含量中等偏上(14.0 $mg \cdot kg^{-1}$)棉田,N 的最佳用量为 287 $mg \cdot kg^{-1}$, P_2O_5 最佳用量为 74.0 $mg \cdot kg^{-1}$ 。磷肥不同施用时期产量差异显著,其大小顺序依次为 100%基施、60%基肥+40%蕾期追施、60%基肥+40%花期追施;磷肥全部基施比单施氮肥增产 10.9%,比 60%基肥+40%花期追施和 60%基肥+40%蕾期追施分别增产 6.7%和 3.4%。张炎等^[21]综合新疆各地试验结果,最高产量施磷(P_2O_5)量和经济产量施磷(P_2O_5)量幅度分别在 100.5~231 $mg \cdot kg^{-1}$ 和 91.5~196.5 $mg \cdot kg^{-1}$ 。

2.4 钾肥效应及施用技术研究

20 世纪 60 年代我国棉田很少施用无机钾肥,而主要依靠农家肥补充钾素。进入 70 年代以后,长江流域棉区土壤缺钾较为普遍,棉田施钾肥有显著的增产效果。80 年代,北方棉区在氮、磷肥施用量增加和麦棉两熟面积不断扩大以及有机肥施用量相对减少的情况下,棉田土壤缺钾的问题也日益明显,施钾也表现较好的增产效果。

20 世纪 80 年代以来,黄河流域棉区许多钾肥试验均表现较好的增产作用。据邱任谋^[25]1981—1984 年在河南驻马店、开封、南阳、周口、郑州市郊试验,45 次钾肥田间试验中产量达到显著水平的有 36 次,平均增产 16.7%,增产 184.5 $kg \cdot hm^{-2}$,每 kg K_2O 增产皮棉 1.5 kg;同时证明,钾肥肥效与土壤速效钾含量呈副相关,土壤速效钾含量 83 $mg \cdot kg^{-1}$ 以下时,钾肥有显著的增产效果,增产率 19.6%;土壤速效钾含量 83~104 $mg \cdot kg^{-1}$ 有较好的增产效果,增产率均为 11.6%;土壤速效钾含量 104 $mg \cdot kg^{-1}$ 以上时,增产效果较小。一般以施用 K_2O 75~112.5 $mg \cdot kg^{-1}$ 最好;氮钾配合比单施氮肥增产 20.0%,氮磷钾配合比氮磷配合增产 18.1%。李俊义等^[30]1983—

1985 年河南安阳试验,氮钾配合施用比单施氮肥增产 9.9%,氮磷钾配合施用比氮磷配合施用增产 6.8%;根据氮磷钾肥料效应方程,棉花最高产量施肥量为 N 168.0 $kg \cdot hm^{-2}$ 、 P_2O_5 123.8 $kg \cdot hm^{-2}$ 、 K_2O 100.5 $kg \cdot hm^{-2}$,经济最佳施肥量为 N 138.0 $kg \cdot hm^{-2}$ 、 P_2O_5 99.8 $kg \cdot hm^{-2}$ 、 K_2O 75.0 $kg \cdot hm^{-2}$,N : P_2O_5 : K_2O = 1 : 0.72 : 0.54。宋美珍^[31]研究结果,黄淮海棉区棉田施用钾肥一般增产幅度为 10%~20%,土壤速效钾含量 83 $mg \cdot kg^{-1}$ 以下棉田最高可增产 30%以上,土壤速效钾含量 125 $mg \cdot kg^{-1}$ 棉田仍有一定的增产效果;土壤速效钾含量 83 $mg \cdot kg^{-1}$ 以下时施 K_2O 180~240 $kg \cdot hm^{-2}$ 为宜,土壤速效钾含量 83~100 $mg \cdot kg^{-1}$ 施 K_2O 不宜超过 180 $kg \cdot hm^{-2}$,土壤速效钾含量 125 $mg \cdot kg^{-1}$ K_2O 最佳用量 146.6 $kg \cdot hm^{-2}$;施钾肥(K_2O)总量小于 120 $kg \cdot hm^{-2}$ 时可作基肥或在蕾期一次施用效果较好,施钾肥(K_2O)总量大于 180 $kg \cdot hm^{-2}$ 时可分两次施用,基施和蕾期追施各半效果较好。邢竹华等^[32]研究,在速效钾(K)52 $mg \cdot kg^{-1}$ 缺钾土壤上,氮钾配合比单施氮肥增产 89.5%,氮磷钾配合比氮磷配合增产 91.5%。据张学斌等^[33]试验结果,河南省中低产棉区,土壤速效钾 84~110 $mg \cdot kg^{-1}$ 水平下,在施用氮肥的基础上,施用 K_2O 112.5~135 $kg \cdot hm^{-2}$,增产幅度为 10.8%~17.1%;在施用氮磷肥的基础上,施用 K_2O 97.5~120 $kg \cdot hm^{-2}$,增产幅度为 4.2%~13.8%。

长江中下游棉区,由于土壤普遍缺钾,而且随着农业生产的发展,棉花生产水平的提高,化学氮磷肥用量的增加和有机肥用量比例的减少,施钾肥效应越来越好,棉田施用钾肥一般增产 10%以上。江苏^[34]、浙江^[35]、上海^[36]、湖北^[37] 等省(市)20 世纪 70 年代钾肥试验结果,绝大多数棉田施钾肥均表现增产,钾肥的增产效果与土壤缺钾程度有密切关系,极端缺钾的棉田施钾的比对照增产达 50%~80%,一般缺钾土壤增产为 9%~36%,不缺钾土壤钾肥增产幅度为 6%~15%。

李俊义等^[38]北疆钾肥试验,土壤速效钾含量 183 $mg \cdot kg^{-1}$,钾肥效果不明显;土壤速效钾含量 158 $mg \cdot kg^{-1}$,钾肥增产 5.6%,增产显著,钾肥(K_2O)适宜用量为 75 $kg \cdot hm^{-2}$ 。另据张炎等^[21]综合新疆各地试验结果,提出新疆棉区棉花最高产量施钾量与经济施钾量分别为 65.4~156 $kg \cdot hm^{-2}$ 及 61.4~119.4 $kg \cdot hm^{-2}$,平均为 98.7 kg

• hm^{-2} 及 $86.4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

2.5 硼肥效应及施用技术研究

自 1975 年原华中农学院黄冈分院在湖北新洲县首次发现棉花“蕾而不花”症,并证实是由缺硼引起以来,我国棉花硼素营养的研究与应用取得了突破性进展。据王运华等^[39]研究,棉花“蕾而不花”症状,一般出现在速效硼含量小于 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的土壤上,因此确定土壤速效硼含量 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 是棉花严重缺硼的临界指标;土培试验以土壤速效硼 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右时棉花产量最高,同时全国主要棉区 1981—1982 年共 306 个田间试验,亦以土壤速效硼 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时棉花施硼肥的效果较好,因此王运华等提出以土壤速效硼 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 作为我国棉花潜在性缺硼的土壤临界指标。1981 年全国 27 个产棉县的 109 个田间试验和 84 个示范片的试验结果表明^[40-41],棉花施用硼肥平均增产 $204 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增产率 12.0%,其中长江流域棉区试验点增产率为 14.5%;黄淮海棉区试验点增产率为 9.0%。李俊义等^[40]1985 年在河南安阳试验,施用硼肥,可促进棉株对氮、磷、钾养分的吸收,增加棉株干物质积累;加快生育进程,促进早熟;单株结铃数、单铃重和衣分增加,增产 5.7%~7.4%。

全国微肥科研协作组制订了棉花施硼技术规范^[41],土壤有效硼含量低于 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,棉花严重缺硼,施用硼肥可以大幅度增产;土壤有效硼含量 $0.2 \sim 0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,棉花中度缺硼,施用硼肥有显著增产效果;土壤有效硼含量 $0.5 \sim 0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,棉花轻度缺硼,追施硼肥有显著增产效果;土壤有效硼含量超过 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,棉花施用硼肥增产效果不稳定;土壤有效硼含量超过 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,棉花可能出现中毒。同时提出了土壤严重缺硼、中度缺硼、轻度缺硼硼肥的施用时期、方式和数量。

2.6 锌肥效应及施用技术研究

李俊义^[42]试验,施用锌肥可促进棉株对氮、磷、钾养分的吸收,增加棉株干物质积累,加快生育进程,提早成熟,单株结铃数增多,增产 15.4%。张乃风等报道^[43],棉花施用锌肥的效应与土壤有效锌含量关系密切,土壤含锌量愈低,施锌肥增产愈大,产量(y)与土壤有效锌含量(x)的关系为 $y=17.19-14.71x(r=-0.8257^{**})$,当土壤有效锌含量大于 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,棉花增产很小或不增产;土壤有效锌含量超过 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,施锌出

现减产。

我国采用的土壤有效锌的测定方法和丰缺指标为:中性—石灰性土壤,DTPA 提取, $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为临界值, $0.5 \sim 1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为缺, $1.0 \sim 2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为适量;酸性土壤, $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ HCl}$ 提取, $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为临界值, $1.0 \sim 1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为缺, $1.5 \sim 3.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为适量。

2.7 稀土效应及施用技术研究

稀土(RE)农用研究早在二十世纪 30 年代原苏联就开始了,我国始于二十世纪 70 年代,80 年代获得重大进展。杨惠元等研究结果^[44],在黄淮海棉区棉花施用稀土元素,有一定的增产效果,一般增产 5%~12%。稀土能促进棉株体内酶的活性,增加叶绿素含量和光合作用,促进根系发育,增强根系活力和养分吸收能力,增加干物质积累,提高铃重,同时也可改善棉花纤维品质。棉花喷施稀土的适宜时期为初花期,其次是蕾期,多次喷施效果并不佳,用量为 $450 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

参考文献:

- [1] 贾仁清,叶德柱,石吟梅,等. 高产棉花的干物质积累和氮磷钾养分的吸收分配规律探讨[J]. 中国棉花, 1981,8(5):27-30.
- [2] 李俊义,刘荣荣,王润珍,等. 棉花需肥规律研究[J]. 中国棉花,1990,(4):23-24.
- [3] 李俊义,刘荣荣,董合林,等. 棉花早熟品种吸收养分特点及氮肥施用时期研究[J]. 棉花学报,1992,4(2):47-51.
- [4] 吴维模,郑德明,董合林,等. 新疆棉花干物质和氮磷钾养分积累的模拟分析[J]. 西北农业学报,2002,11(1):92-96.
- [5] 张旺锋,李蒙春,勾玲,等. 北疆高产棉花养分吸收特性的研究[J]. 棉花学报,1998,10(2):88-95.
- [6] 张毓锺,杨汝献,杨惠元,等. 棉花施肥技术研究[C]//中国棉花学会. 1963 年棉花学术讨论会论文集. 北京:中国农业出版社,1965,92-102.
- [7] 张毓锺,杨惠元,傅翠贞,等. 棉花施肥及营养动态的研究[R]. 安阳:中国农业科学院棉花研究所. 1964.
- [8] 陈兵林,高珍,金桂红,等. 连续分期配施有机肥对棉花超高产及土壤肥力的影响[J]. 江西棉花,2002(4):7-10.
- [9] 王天让,沈仍愚. 棉区绿肥栽培利用及肥效研究[R]. 安阳:中国农业科学院棉花研究所,1963.
- [10] 徐国贤,杨惠元,刘荣荣,等. 1978-1980 棉田绿肥栽培利用试验[R]. 安阳:中国农业科学院棉花研究

- 所,1980.
- [11] 唐耀升,杨汝献.棉田绿肥栽培利用试验[R].安阳:中国农业科学院棉花研究所,1985.
- [12] 李俊义,刘荣荣,唐耀升.我国主要棉区棉花经济施用氮肥关键技术研究[J].中国棉花,1989,16(2):24-27.
- [13] 辛承松,唐薇,翟志席,等.施肥对滨海盐碱地棉花产量和纤维品质的影响[J].中国棉花,2002,29(3):33-34.
- [14] 胡尚钦,杨晓,张相琼,等.紫色土壤施氮对棉花产量品质的影响[J].棉花学报,2001,13(1):36-41.
- [15] 阿雷亚,厉仁安.海涂棉花施用氮钾肥效果研究[J].浙江农业大学学报,1997,23(6):721-724.
- [16] 朱永歌,俞全胜,孙天曙,等.高品质棉渝棉一号生育特性和栽培技术研究[J].中国棉花,2002,29(3):17-19.
- [17] 戴敬,杨举善,陈荣来,等.里下河地区移栽地膜棉高产肥料运筹研究[J].中国棉花,1999,26(4):12-14.
- [18] 江建华,吉建国.棉花氮素化肥分期合理配施的初步研究[J].江苏农业科学,1999(3):28-29,32.
- [19] 郑曙峰,王占乔.江淮丘陵地区棉花氮肥运筹技术研究[J].耕作与栽培,2001(1):46-46,59.
- [20] 李俊义,刘荣荣,王润珍.新疆棉区棉花氮肥适宜用量和施用时期研究[J].中国棉花,1999,26(4):24-26.
- [21] 张炎,毛端明,王讲利,等.新疆棉花平衡施肥技术的发展现状[J].土壤肥料,2003(4):7-10.
- [22] 山西省农业科学院土壤肥料研究所磷肥调查组.磷肥的肥效问题[J].山西农业科学,1963(2):11-15.
- [23] 李文炳,徐惠纯.山东省主要棉区棉花磷肥肥效的研究[J].棉花,1979(6):18-24.
- [24] 徐本生,贾玉珍,朱禧月,等.盐碱地棉花施用磷肥的增产效应[J].河南农业大学学报,1987,1(1):468-476.
- [25] 邱任谋.钾肥对棉花的作用及施用技术[J].河南农业科学,1986(6):8-10.
- [26] 孟广尧.黑龙江地区瘠薄棉田氮磷配比试验[J].河北农学报,1985,10(1):59.
- [27] 湖北省农业科学研究所.湖北省两熟棉田施肥技术研究综述[C]//中国棉花学会.1963年棉花学术讨论会论文集,北京:中国农业出版社,1965:174-180.
- [28] 陈学圣,罗运选,刘国华.氮磷钾及其交互作用对移栽棉花产量的影响[J].棉花学报,1989,1(1):55-63.
- [29] 李俊义,刘荣荣,王润珍,等.新疆棉花磷肥最佳用量及时期研究[J].中国棉花,1999,26(5):21-22.
- [30] 李俊义,刘荣荣,周茂谦,等.棉花氮磷钾化肥最佳用量及需肥规律研究[J].中国棉花,1987,14(6):24-27.
- [31] 宋美珍,杨惠元,蒋国柱.黄淮海棉区钾肥效应研究[J].1993,5(1):73-78.
- [32] 邢竹华,申建波,郭建华,等.高产棉花营养吸收规律及钾肥效果研究初报[J].土壤肥料,1994(4):25-28.
- [33] 张学斌,汪立刚,王继印,等.河南省中低产棉区施用钾肥的效果研究[J].中国棉花,2002,29(4):7-9.
- [34] 史瑞和,鲍士旦,秦怀英,等.江苏省主要土类钾素供应状况和棉花钾肥试验[J].南京农学院学报,1980(1):127-136.
- [35] 浙江农业大学作物栽培教研组,慈溪县棉花研究所,海盐县城郊公社东风八队.棉花钾肥施用量和施用时期试验总结[R].杭州:浙江农业大学,1974.
- [36] 上海市农业科学院作物研究所农业物理组,棉花组.应用15研究棉花后期增施N肥的效果[R].上海:上海市农业科学院作物研究所,1977.
- [37] 湖北农业科学研究所土壤肥料系整理.1974年钾肥肥效试验总结摘要[R].武汉:湖北农业科学研究所,1974.
- [38] 李俊义,刘荣荣,王润珍,等.新疆棉区钾肥效果研究[J].中国棉花,1999,26(6):21-23.
- [39] 王运华,刘武定,皮美美.棉花潜在性缺硼与有效施硼的研究[J].中国农业科学,1985(2):62-64.
- [40] 李俊义,刘荣荣,等.棉花平衡施肥与营养诊断[M].北京:中国农业科技出版社,1992.
- [41] 全国微肥科研协作组.几种主要农作物锌硼施用技术规范的研究— I.几种主要农作物锌硼肥施用技术规范[J].土壤肥料,1989(3):6-9.
- [42] 李俊义,刘荣荣,周茂谦,等.棉花施用锌肥效果研究[J].中国棉花,1985,12(6):36-38.
- [43] 张乃凤,王淑惠,等.棉花施锌技术及其肥效研究[J].土壤肥料,1984(5):4-7.
- [44] 杨惠元,蒋国柱,毛树春,等.稀土在棉花上的应用效果[J].中国棉花,1988,15(4):31-33. ●