

# 钾对棉花生长发育生理特性以及产量品质的影响研究

彭龙,原保忠,周欢,崔颖,张献龙  
(华中农业大学,武汉 430070)

**摘要:**棉花是喜钾作物。钾作为棉花生长发育必需的大量元素之一,对棉花的产量和品质均有重要的影响。参考相关的资料,笔者综述了钾对棉花生长发育、生理特性以及产量品质影响的研究进展状况,并提出了一些在研究中有待进一步解决的问题。

**关键词:**棉花;钾营养;生长发育;生理特性;产量;品质

中图分类号:S318

文献标志码:A

论文编号:2010-3559

## Review of Potassium Effects on Growth, Physiological Characteristics, Yield and Quality in Cotton

Peng Long, Yuan Baozhong, Zhou Huan, Cui Ying, Zhang Xianlong  
(Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

**Abstract:** Cotton is a crop which needs much potassium. Potassium is one of the major elements which are necessary for the growth of cotton, the influence of potassium on yield and quality is very important. A review about the effects of potassium on growth, physiological characteristics, yield and quality in cotton was made, and addressed the further research topics.

**Key words:** cotton; potassium; growth; physiological characteristics; yield; quality

## 0 引言

中国有黄淮流域、长江流域和西北内陆3大棉区,棉花年平均产量约占世界同期年平均产量的25%,是目前世界最大的产棉国<sup>[1]</sup>。钾是植物必需的大量营养元素之一,在酶的激活、蛋白质合成、物质运输和渗透调节等方面都起着重要的作用。对于棉花来说,钾还影响纤维素的合成。因此,钾对于棉花产量和品质来说都至关重要。根据土壤交换性钾的含量与棉花生长情况,一般可将土壤供钾状况分为4级:土壤交换性钾>90 mg/kg,不缺钾;70~90 mg/kg,潜在缺钾;<70 mg/kg,明显缺钾;<50 mg/kg,严重缺钾<sup>[2]</sup>。近年来,随着复种指数的提高和氮磷化肥用量的增加,缺钾土壤面积不断扩大,如20世纪80年代以来,新疆棉区棉花大面积连年种植,土壤中氮磷钾的比例发生较大变化,部分棉田钾素亏缺。缺钾导致棉花生长发育受阻、产量下降、品质变劣的现象时有发生<sup>[3]</sup>。国内外很多的学者通过

各种试验方法进行了钾对棉花作用的研究,并且取得了很多的成果。本研究综述了钾对棉花生长发育、生理特性以及产量品质的影响,并提出了棉花钾肥方面一些有待深入研究的问题。

## 1 钾对棉花生长发育的影响

### 1.1 钾对棉花苗期的影响

朱振亚等<sup>[4]</sup>在新疆地区的钾肥试验显示,施肥后约20天,棉花长势较旺盛,叶片加厚,叶色较深,生长发育进程加快。表现在棉花的株高、叶片数、果枝数的增长量均高于不施钾肥处理。郭英等<sup>[5]</sup>进行了2个品种的钾肥试验,结果表明,在一定范围内随着钾肥量的增加,棉花苗期的株高、叶面积、单株叶片数都不同程度的上升。但是超过这一范围则呈现出下降趋势。

除了以上对棉花苗期农艺性状影响的研究,也有人针对钾对棉花苗期生理指标的影响进行了研究。张志勇等<sup>[6]</sup>在室内采用液培方式从根系活力、游离吡啶

基金项目:国家棉花产业技术体系。

第一作者简介:彭龙,男,1988年出生,湖北公安人,硕士,研究方向:作物栽培学与耕作学。通信地址:430070 华中农业大学植物科技学院, E-mail: 274508978@qq.com。

通讯作者:原保忠,男,1968年出生,河南汤阴人,副教授,博士,研究方向:作物水分高效利用和农业生态学。通信地址:430070 华中农业大学植物科技学院, E-mail: yuanbz@mail.hzau.edu.cn。

收稿日期:2010-12-10,修回日期:2011-03-07。

乙酸(IAA)含量和乙烯释放量等方面深入了解缺钾对棉花根系生长的影响及其机理,为棉花生产中钾素养分管理提供一定的依据。缺钾处理4天后棉花根系活力显著降低25%,这是各项生理代谢活动受抑的反映;另外,游离IAA的含量降低约50%,而乙烯释放量却提高了将近6倍。根系乙烯释放量增加和游离IAA含量的降低可能是缺钾抑制棉花根系生长的重要原因。郭英等<sup>[7]</sup>研究指出,在一定范围内(0~180 kg/hm<sup>2</sup>)增施钾肥,不仅降低棉花叶片中MDA含量,而且有利于提高苗期棉花功能叶中的SOD活性和对氧自由基的清除能力,降低POD活性,减少过氧化物的产生和积累,减轻过氧化物对细胞膜的伤害,延缓棉花功能叶片衰老。

### 1.2 钾对棉花根系的影响

钾素能促进棉株根系的生长发育,使根系下扎纵伸幅度增大,从深度和广度上提高吸收土壤水分能力。李燕娥等<sup>[8]</sup>在试验中发现,施钾(K<sub>2</sub>O) 112.5 kg/hm<sup>2</sup>的处理比CK不施钾肥处理根干重在3次调查中分别增加22.0%、30.0%和29.8%。雷荣荣等<sup>[9]</sup>通过在新疆地区不同品种的钾肥试验发现,在一定范围内,随着钾水平的提高,棉花的根长显著增加。施用钾肥以后,棉花根系发达、数量增多,根系活跃吸收面积增大,根系发育好,根系活力增强。王刚卫等<sup>[10]</sup>则发现,钾吸收效率高的品种根表面积不一定大,但吸收效率低的品种的根表面积基本上都小于平均值,也就是说钾积累量与根系表面积没有显著的线性关系。

Pettigrew<sup>[11]</sup>研究发现,缺钾使棉花根系中葡萄糖、果糖和淀粉的含量均有增加,不施钾处理根系中3种糖含量分别比施钾处理的增加14%、27%和82%。由此可见,钾不仅会影响棉花根系的生长,对根系的一些生理特性也有较大的影响。

### 1.3 钾对地上部分的影响

1.3.1 钾对棉花地上部营养生长的影响 棉花地上部分的营养生长主要包括了茎和叶的生长,干物质积累状况很好的反映了茎叶的生长状况。宋美珍<sup>[12]</sup>在7月到9月间隔10天取样烘干称重发现,施钾处理的茎干重随着生长发育进程的增長比对照更快。中熟性棉花施钾后,调节了棉株的生长发育,使棉株早期就处在较高的营养起点,为后期生长发育奠定了物质基础。之后,宋美珍等<sup>[13]</sup>又通过‘中棉12’和‘中棉17’这2个棉花品种的钾肥试验说明了施钾减缓了主茎功能叶干物质的降低,使其维持一定水平的干物质,延长了主茎功能叶的寿命。因此,施钾能够促进棉株地上各营养器官干物质的积累。

1.3.2 钾对棉花生殖生长的影响 衡量棉花的生殖生长

状况的指标包括蕾、花、铃以及脱落的数目或比例。宋美珍<sup>[12]</sup>通过7月到9月间隔10天连续取样测干重发现,施钾处理的果枝和蕾铃干重在各个时期的增加更快。李燕娥<sup>[8]</sup>也做了这方面的研究,在单株成铃数上,施钾比施氮和磷分别增加4.3个、4.7个。在铃的脱落率上,施钾比施氮的蕾铃脱落率要低15.68%。测定棉株干重,生殖器官占总干重分别为施氮18.24%,施磷23.69%,施钾28.84%。这说明施钾肥有利于棉株的生殖生长。

## 2 钾肥对棉花生理特性的影响

### 2.1 钾对棉花光合作用的影响

叶绿素含量与植物的光合作用紧密相关,钾能促进叶绿素的合成,改善叶绿体的结构,叶绿素值的高低与钾的含量密切相关。不论是钾高效还是钾低效品种,用较高浓度钾处理时,叶片叶绿素含量都显著高于用低浓度的钾处理<sup>[14]</sup>。雷荣荣等<sup>[9]</sup>在新疆地区通过对不同棉花品种的不同钾浓度处理的研究也印证了以上的结论。施钾能促进叶片中叶绿素a和叶绿素b的合成<sup>[15]</sup>。郭英等<sup>[5]</sup>的钾肥试验设置了4个钾肥梯度,施钾(K<sub>2</sub>O) 0 kg/hm<sup>2</sup>, 60 kg/hm<sup>2</sup>, 120 kg/hm<sup>2</sup>, 180 kg/hm<sup>2</sup>,同时施磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 120 kg/hm<sup>2</sup>,纯氮90 kg/hm<sup>2</sup>。结果显示,叶绿素a、叶绿素b、叶绿素总含量以及光合速率都随着钾肥量的增大而增大,这说明施钾可以促进叶绿素的合成,从而提高了叶片的光合速率。

叶面积指数(LAI)是反映作物群体大小的较好的动态指标。在一定的范围内,作物的产量随叶面积指数的增大而提高。马宗斌等<sup>[16]</sup>试验显示,棉花LAI在盛花期后呈上升趋势,至盛铃期达到最大值,吐絮期降低。施钾可增加棉花的LAI,但不同基因型棉花对钾肥的响应不同。除此以外,施钾后,不同基因型棉花叶片PS II最大光化学效率Fv/Fm、PS II潜在光化学活性Fv/Fo和ΦPS II均有不同程度增加,提高了不同基因型棉花叶片的叶片净光合速率(Pn)和叶片气孔导度(Gs)。

总的说来,在一定范围内,施钾能够提高棉花的叶绿素含量、叶面积指数等多种与光合作用紧密相关的生理指标,从对棉花的光合作用起到促进作用。

### 2.2 钾对棉花碳水化合物积累的影响

糖类是棉花光合作用过程转变来的主要碳水化合物,常用来衡量植物体内碳水化合物积累状况的指标主要包括可溶性糖与淀粉含量等,碳水化合物的积累以及分配则反映出棉花的生长状况。钾被认为是棉花生殖生长最重要的营养元素,在一定程度上是因为它在运输糖类物质供给棉铃生长的过程中发挥重要的作

用。一些研究<sup>[17]</sup>证明了钾素缺乏会使对铃的糖类供给减少。Jenny Clement-Bailey等<sup>[18]</sup>3年的钾肥试验结果显示,钾素显著影响茎秆中葡萄糖的积累,而对蔗糖和淀粉的影响不显著,对果糖的影响在不同的年份表现出差异。Pettigrew<sup>[11,19]</sup>研究认为,施钾使叶面积指数增加比叶重降低,缺钾使棉花叶片的比叶重增加,缺钾导致叶片中的可溶性糖含量增加是造成这一现象的原因。

### 2.3 钾对棉花氮、磷代谢的影响

氮磷钾3种元素是植物生长发育最重要的3种大量元素,在棉花栽培过程中,常用化学肥料氮、磷、钾肥仍然是主导肥料品种,并且只有3种肥料配合施用才能最大限度发挥增产潜力,而3种元素的吸收与积累则存在相互影响。

棉花各个器官中钾素吸收积累量趋势是叶>茎>根>壳>籽>纤维,氮素吸收积累量趋势也是叶>茎>根>籽>壳>纤维,二者基本一致,这说明氮与钾的吸收积累密切相关,氮素也主要在棉花的地上部分吸收积累,尤其是在叶片中<sup>[20]</sup>。很多研究都认为,施钾能促进棉株对氮的吸收,提高叶面和纤维中的氮含量,但是也存在一些研究得到的结果与此结果存在差异。例如张计峰等<sup>[21]</sup>研究表明,施钾会对棉花叶片中全氮含量产生影响。除在棉花播种20天时施钾处理叶片全氮含量略高于不施钾处理外,在40天和60天时,施钾处理叶片全氮含量均下降。氮、钾在叶片中含量的变化直接影响到二者在植株体内的比例,施钾会使叶片中全氮含量有降低的趋势,而这一趋势与很多研究结果都相反。因此钾对棉花氮代谢的影响还需进一步研究证明。

钾对棉花磷素吸收积累也有一定影响,施钾有利于棉花对磷素的吸收积累。巫兰等<sup>[20]</sup>试验显示施钾各处理的磷素总吸收积累量与对照差异极显著。棉花各个器官中磷素吸收积累量趋势是根>叶>茎>籽>壳>纤维,根部对磷素的吸收积累效果最好,这与钾素吸收积累规律有差异,棉花钾素吸收积累量趋势是叶>茎>根>壳>籽>纤维。试验中 $K^+$ 浓度6 mmol/L处理的根、茎和棉籽的磷素吸收积累量都为最高值。因此,在一定程度上施钾能够促进棉花根系中磷素的吸收和积累。从棉花P素吸收总积累量来看,施钾有利于棉花对P素吸收积累,但不同品种其效应不一。P素在各个器官中的吸收积累也依钾素处理的不同而不同,陈波浪等<sup>[22]</sup>试验显示,在缺钾和高钾处理中,‘新陆早13’根中P素吸收总积累量分别占P素吸收总积累量的64.3%和63.4%,‘中棉36’根中P素吸收总积累量分别为P素吸收总积累量51.6%和61.8%,这表明缺钾和高钾都不利于棉花P素向地上部分吸收积累,只有在适当的钾

素营养下才促进P素在地上部分吸收积累。

### 2.4 钾的积累、运输与分配

不同植物的钾分配规律存在差异,棉花植株体内钾含量在根茎叶中的分配规律是,叶与茎含量相当,都大于根中钾的含量,这是因为钾在植株体内以离子形态存在,易于从根部往地上部运输。但是不同的钾肥处理会影响这一分配规律。雷荣荣等<sup>[9]</sup>试验表明,2个品种棉花的根、茎、叶和整株的钾素含量是高钾处理极显著高于低钾处理,表明供钾水平是提高植株含钾量的关键因素。低钾处理时,植株茎中钾含量有略小于叶和根部钾含量的趋势。在高钾处理时,根、茎、叶中的钾含量都较低钾处理时显著提高,茎部钾含量略低于叶的含量。姜存仓等<sup>[23]</sup>研究了地上部与地下部钾积累的关系,结果表明,愈是在低钾条件下,地上部钾素积累量占的比例愈大,钾素愈向上部转移,在较高钾水平时,不同品种地上地下部分钾积累量差距减少。

王刚卫等<sup>[24]</sup>应用放射性同位素 $^{86}Rb^+$ 标记和原子吸收光谱分析方法研究了棉花植株钾素的运输与分配。在盛花期,主茎和产量器官是主茎叶片中 $K^+(^{86}Rb^+)$ 运转的主要去向,二者占到了 $K^+(^{86}Rb^+)$ 运转比例的70%~80%,而它们的干物重仅占植株总干重的48%~52%。在吐絮期,产量器官和主茎仍是钾分配较多的器官,但吐絮期产量器官的钾分配比例较盛花期提高,而主茎的降低。

### 2.5 钾与棉花抗逆性关系

钾对棉花抗逆性具有重要的作用,能从多个方面增强棉花的抗逆性。李燕娥等<sup>[9]</sup>试验表明,随施钾肥数量的增加,蒸腾速率降低的幅度加大。与不施钾肥(CK)相比,降低幅度为0.71~2.28  $H_2O\ mg/(min \cdot g \cdot w)$ ,叶片的含水量增加,其增值为23.94%~67.91%。施用钾肥,使叶片保卫细胞负压增强,从而使体内水分贮存量增多。另一方面,施钾可能影响到棉株体内脯氨酸的含量,这些共同作用的结果,提高了棉株的抗旱性。

钾对棉花的抗寒性也有影响。杨惠元等<sup>[25]</sup>还通过盆栽试验发现,棉苗在2片真叶时突然受到5℃以下低温,常因冷害而萎蔫,而‘中棉12’和‘中棉17’2个品种施钾后的受冷害比例分别比对照降低56.2%和38.5%,这说明施钾提高了棉花的抗寒性。

### 2.6 钾与棉花内源激素的关系

IAA、ZR、GA<sub>3</sub>是植物重要的内源激素,具有促进植物生长,延缓衰老的作用。ABA则具有促进植物衰老的作用。钾营养的增加提高了铃壳内源激素IAA含量,从而有利于诱导体积增大,铃重提高;有利于纤维中ZR含量的提高,特别是上部铃纤维ZR含量增

加;有利于改善纤维长度和成熟度<sup>[26]</sup>。郭英等<sup>[5]</sup>试验显示,各个钾肥处理的 IAA、ZR、GA<sub>3</sub> 含量都高于对照,ABA 含量则低于对照。说明钾肥能提高棉花叶片中 IAA、ZR、GA<sub>3</sub> 的含量,降低 ABA 的含量,促进棉花的生长,延缓衰老。

### 2.7 钾对棉花早衰的影响

缺钾会造成棉花早衰,钾对棉花早衰的影响并不是单一的,缺钾会对棉花的光合作用、内源激素等各方面造成影响,从而造成早衰。宋美珍等<sup>[12]</sup>用 2 种熟性的棉花品种进行试验发现,中熟性品种施钾后,调节了棉株的生长发育,使棉株早期就处在较高的营养起点,为后期生长发育奠定了物质基础。后期主茎叶制造养分的能力降低也较慢,有效防止了后期叶片过早衰老;中熟偏早型品种施钾后,棉株不同时期的生育中心更为明显,且使下部主茎叶的变化缓慢,从而延缓了下部叶片的衰老。Pettigrew<sup>[11]</sup>研究认为,缺钾导致叶片中碳水化合物积累增加,而运出用于生殖器官发育并形成产量的碳水化合物必然减少,这是缺钾导致棉花早衰、产量降低、品质变劣的主要原因之一。ABA 是一种抑制植物生长发育的物质,它的主要生理作用是促进离层形成、衰老和脱落,促进休眠,并可引起气孔关闭<sup>[12]</sup>。Peuke 等<sup>[27]</sup>研究表明,低钾供应下,根系中 ABA 的生物合成量明显增强,ABA 含量的增加促进了早衰的形成。

### 2.8 钾对棉花早熟的影响

施钾能够延缓棉花的衰老,但同时棉花的早熟性也存在影响。李燕娥等<sup>[9]</sup>试验显示,施钾处理比对照吐絮期提前 3~4 天。9 月 24 号采收的子棉占总产量的比例为施钾 65.14%,施磷 59.33%,施氮 57.30%,施钾处理为最高。因此,在连续施用氮、磷肥的基础上,施用钾肥有促于其早熟性。钾对棉花早熟性影响方面的研究还相对较少,有待进一步的研究证明。

### 3 钾对棉花产量的影响

一般情况下,施用钾肥都有不同程度的增产效果,李银水等<sup>[28]</sup>通过 17 个大田试验研究了湖北棉花钾肥施用效果。结果表明,适量施用钾肥棉花增产增收效果显著,17 个试验施钾比不施钾增产子棉 129~930 kg/hm<sup>2</sup>,平均增产 445 kg/hm<sup>2</sup>,平均增产率为 16.6%。但是土壤的速效钾含量较高时施用钾肥一般无效,例如粘土速效钾 > 125 mg/kg 为高量,施用钾肥无效<sup>[29]</sup>。

钾对棉花产量的影响来自多个方面,直接反映在一些性状以及各个产量构成因素上面。棉花的产量构成因素包括密度、单株铃数、单铃重以及衣分。施钾量的增加促进了棉铃的体积与铃重提高,特别是上部铃

体积、铃重与中部铃差异减小,使中、上部棉铃平衡发育,从而提高了整株铃重<sup>[26]</sup>。范希峰等<sup>[30]</sup>研究认为,钾肥主要增加上部(≥10)果枝和外围节位(≥3 节位)的成铃数和铃重。朱振亚等<sup>[4]</sup>在新疆地区的钾肥试验显示,各施钾处理的总铃数比对照多(4.5~17.2)×10<sup>4</sup>个/hm<sup>2</sup>,单铃重比对照增加 0.01~0.38 g,霜前花率比对照增加 4.3%~8.7%。籽棉产量与对照相比,增产幅度为 3.73%~11.85%。在一定范围内随着钾肥用量的增加,均显著增加株高、果枝层数和伏前桃、伏桃、秋桃及总果节数,而脱落率却有较显著降低的趋势,这表明钾肥用量的提高对棉株的生长有显著的促进作用,对产量构成因子也有较显著的提高效果,特别是增加“三桃”数,降低蕾铃脱落率,对增产起到重要作用<sup>[31]</sup>。

### 4 钾对棉花品质的影响

棉花属于喜钾作物,适宜的钾营养是其高产、优质的保证。施钾会明显改善棉花的纤维品质,特别是上部的棉纤维品质<sup>[26]</sup>。棉花品质性状一般包括纤维长度、整齐度、断裂比强度、伸长率和马克隆值。大量研究证明,棉花在进入大量结铃期后,如果土壤速效钾供应不足或根系的吸收功能急剧衰退,均会导致产量和纤维品质的下降<sup>[32-33]</sup>。李燕娥<sup>[8]</sup>试验显示,施用钾肥的处理棉纤维品质最佳,除比强度略低于施氮肥 0.8 g/tex 外,其余各项纤维品质指标比施氮肥、磷肥分别提高为:2.5%跨长 0.1 mm、0.7 mm;长度整齐度 3.6%、4.9%;马克隆值 0.6、0.1。朱振亚等<sup>[4]</sup>新疆地区钾肥试验品质分析表明,各施钾处理的 2.5%跨长比对照增加 0.65~1.0 mm,衣指增加 0.15~0.40 g,比强度比对照提高 0.9~2.1 g/tex,施钾还降低了棉花纤维的含糖率,其含糖率比对照低 0.1%~0.6%,这些结果都说明施用钾肥对棉花纤维品质提高具有明显的作用。

从钾营养元素对棉花纤维品质的影响比较看来,棉纤维伸长度和马克隆值受钾的影响最大,纤维长度和纤维强度次之,整齐度和细度受钾影响不大。施钾有助于纤维的伸长,从而提高纤维的长度和伸长率。在纤维伸长停止之前,即进入了次生壁的增厚期,纤维素在次生壁内表面的积淀致使其增厚,而次生壁的厚度影响纤维强度的形成。因此,施钾可以增加棉纤维的次生壁厚度,从而提高纤维强度<sup>[20]</sup>。

### 5 讨论

钾是棉花生长必不可少的元素,对于棉花的整个生长发育过程以及产量品质的形成都有重要的影响。而近年来中国农田土壤钾素肥力下降,钾肥有效地区不断扩大。某些棉区钾肥对棉花的增产作用在逐渐降低,因此提高土壤中钾素的有效性和钾肥的利用率非

常重要。

棉花钾素营养的研究已经走过了几十年的历程,取得了很大的进展,这一理论体系还在不断的补充完善,但与水稻、小麦等作物相比,关于棉花钾营养的研究至今仍算是比较薄弱。

依据其中还存在的一些亟待解决问题,笔者提出以下4点:(1)钾与棉花各部位可溶性糖的积累有关,但钾对可溶性蛋白质及相关酶类影响的研究还比较少,尚待进一步的研究;(2)钾对棉花衰老影响的研究已做过不少,但是钾对与衰老有关的酶的影响还缺少研究。因此,应加强对棉花衰老机理的研究;(3)有研究指出,施钾能够促进棉花的早熟,但是施钾对棉花早熟性的研究还较少;(4)在研究钾对棉花产量品质影响时发现,钾能提高棉花纤维长度和次生壁厚度,从而提高衣分,但其影响机理还有待研究。钾对其他纤维品质形成机理影响的研究也未见报道。

### 参考文献

- [1] 郑继有.论加入 WTO 对我国棉花生产的影响[J].中国棉花,2000,27(4):28.
- [2] 秦遂初,张永松.棉花缺钾症诊断研究[J].中国农业科学,1983,4:44-50.
- [3] 郭英.棉花钾肥效应研究进展[C].见:山东省科学技术学会.黄河三角洲棉花生产发展论坛论文集.北京:中国社会科学出版社,2005:243-51.
- [4] 朱振亚,赵翔,王承华,等.棉花施钾效应研究[J].新疆农业科学,2000(1):24-26.
- [5] 郭英,孙学振,宋宪亮,等.钾素营养对棉花苗期生长和叶片生理特性的影响[C].见:山东省科学技术协会.山东省棉花学会第五届代表大会、山东省优质棉基地建设管理协会第三届代表大会论文集汇编.济南2006:156-162.
- [6] 张志勇,王清连,李召虎,等.缺钾对棉花幼苗根系生长的影响及其机制[J].作物学报,2009,35(4):718-723.
- [7] 郭英,宋宪亮,王庆材,等.施钾对棉花苗期叶片内源激素与氧自由基代谢的影响[J].华北农学报,2006,21(1):59-62.
- [8] 李燕娥,赵海祯,解红娥,等.旱地棉田施用钾肥效应[J].棉花学报,1997,9(1):47-51.
- [9] 雷荣荣,陈波浪,盛建东,等.钾营养对棉花生长发育与生理特性的影响[J].新疆农业大学学报,2008,31(3):69-72.
- [10] 王刚卫,田晓莉,张志勇,等.2004年全国棉花主栽品种苗期钾效率初步比较[C].见:中国农业科学院棉花研究所.中国棉花学会2005年年会暨青年棉花学术研讨会论文集汇编.河南安阳:中国棉花杂志社,2005:242-246.
- [11] Pettigrew W T. Potassium deficiency increases specific leafweights and leafglucose levels in field grown cotton[J]. Agronomy Journal, 1999, 91(6):962-968.
- [12] 宋美珍,毛树春,邢劲松,等.钾素对棉花光合产物的积累及产量形成的影响[J].棉花学报,1994,6(增刊):52-57.
- [13] 宋美珍,毛树春,杨惠元,等.钾对棉花叶片干物质消长及生理活性的影响[J].河南农业大学学报,1996,30(2):191-194.
- [14] 姜存仓.不同基因型棉花苗期钾效率差异的初步探讨[J].棉花学报,2004,16(3):162-165.
- [15] Lamrani Z, Belakbir A, Ruiz J M, et al. Influence of nitrogen phosphorus and potassium on pigment Concentration in cucumber leaves[J].Common Soil Science Plant Analysis, 1996, 7: 1001-1012.
- [16] 马宗斌,李伶俐,朱伟,等.施钾对不同基因型棉花光合特性及产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(6):1129-1134.
- [17] Ashley D A, Goodson R D. Effect of time and plant potassium status on clabeled photosynthate movement in cotton[J].Crop Science,1972,12:686-690.
- [18] Jenny Clement-Bailey, Owen Gwathmey C. Potassium Effects on Partitioning, Yield, and Earliness of Contrasting Cotton Cultivars [J]. Agronomy Journal, 2007, 99:1130-1136.
- [19] Pettigrew W T, Meredith W R. Dry matter production, nutrient uptake, and growth of cotton as affected by potassium fertilization [J]. Plant Nutrition, 1997, 20:531-548.
- [20] 巫兰,陈波浪,马德英,等.钾素对棉花营养吸收分配及纤维品质的影响[J].新疆农业大学学报,2010,33(3):192-196.
- [21] 张计峰,褚贵新,杨长江.施钾对棉花部分生理指标的影响[J].安徽农业科学,2007,35(23):7213-7214,7218.
- [22] 陈波浪.磷钾营养对水培棉花生长发育和生理特性的影响[D].新疆:新疆农业大学,2006:1-54.
- [23] 姜存仓,袁利升,王运华,等.不同基因型棉花苗期钾效率差异的初步研究[J].华中农业大学学报,2003,22(6):564-568.
- [24] 王刚卫,田晓莉,谢湘毅,等.土壤缺钾对棉花钾运转和分配的影响[J].棉花学报,2007,19(3):173-178.
- [25] 杨惠元,宋美珍.北方棉区钾肥施用效应研究[J].中国棉花,1992,19(2):28-29.
- [26] 刘燕,王进友,张翔,等.钾营养对高品质棉不同部位棉铃发育及内源激素影响的研究[J].棉花学报,2006,18(4):209-212.
- [27] Peuke A D, Jesch W D, Hartung W. The uptake and flow of C, Nandions between roots and shoots in Ricinus communis L. III. Long-distance transport of abscisic acid depending on nitrogen nutrition and salt stress[J]. Journal of Experimental Botany,2002,45(275):741-747.
- [28] 李银水,鲁剑巍,李小坤,等.湖北省棉花钾肥效应研究[J].湖北农业科学,2010,49(6):1302-1306.
- [29] 江礼斌,唐先来,柴新荣,等.棉花测土配方施肥[J].安徽农业科学,2008,28(3):351.
- [30] 范希峰,王汉霞,田晓莉,等.钾肥对棉花产量的影响及最佳施用量研究[J].棉花学报.2006,18(3):175-179.
- [31] 万运帆,陈防,鲁剑巍,等.江汉平原施钾对棉花产量及生长的影响[C].见:中国土壤学会青年工作委员会.第七届全国青年土壤暨第二届全国青年植物营养科学工作者学术讨论会论文集.北京:中国农业出版社,2000:294-299.
- [32] Pettigrew W T, Heitholt J J, Meredith W R. Genotypic interactions with potassium and nitrogen in cotton of varied maturity[J]. AgronomyJournal,1996,88:89-93.
- [33] Pettigrew W T. Relationships between insufficient potassium and crop maturity in cotton[J]. AgronomyJournal, 2003, 95:1323-1329.