

## 磷肥种类和用量对土壤磷素有效性和棉花产量的影响

陈波浪<sup>1</sup>, 盛建东<sup>1\*</sup>, 蒋平安<sup>1</sup>, 刘永刚<sup>1,2</sup>

(1.新疆农业大学草业与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐 830052;

2.新疆农业职业技术学院,新疆 昌吉 831100)

**摘要:**田间试验研究了两种磷肥不同用量对土壤磷素、棉花全生育期磷素的有效性以及棉花产量的影响。结果表明:增施磷肥能增加棉田土壤速效磷、全磷含量、磷素活化系数以及棉花产量,土壤速效磷和磷素活化系数平均比对照处理增加302%和180%。同时,也能增加棉花对磷素的吸收和干物质的积累。但过量施用磷肥并不能显著增加棉花产量、吸磷量和干物质积累量。棉花对磷素的吸收和干物质积累以施磷量150 kg·hm<sup>2</sup>最优。两种磷肥比较显示,重过磷酸钙对棉田速效磷含量和磷素活化系数的贡献高于磷酸二铵,分别比磷酸二铵高244%和325%。

**关键词:**磷肥;棉花;土壤;磷素有效性;产量

中图分类号:S562.06 文献标识码:A

文章编号:1002-7807(2010)01-0049-08

## Effect of Applying Different Forms and Rates of Phosphoric Fertilizer on Phosphorus Efficiency and Cotton Yield

CHEN Bo-lang<sup>1</sup>, SHENG Jian-dong<sup>1\*</sup>, JIANG Ping-an<sup>1</sup>, LIU Yong-gang<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;

2. Xinjiang Agricultural Vocational Technological College, Changji, Xinjiang 831100, China)

**Abstract:** In this paper, the effects of two phosphorus fertilizers and their different concentrations on soil, phosphorus efficiency of plant on the whole growth period and yield for cotton were studied by field experiment. The results showed that application of phosphate could significantly increase available phosphorus and total phosphorus content of soil as well as phosphorus activation coefficient, the average contents of soil available phosphorus and phosphorus activation coefficient were 302% and 180% more than those of control, also application phosphate could increase the phosphorus absorption and dry matter accumulation. However, excessive application of phosphate fertilizer could not significantly increase the level of cotton yield, phosphorus absorption and dry matter accumulation. The amount of applying P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> of obtaining the optimal phosphorus absorption and dry matter accumulation was 150 kg·hm<sup>2</sup>. Comparison results showed available phosphorus content, phosphorus activation coefficient and cotton yield of single super phosphate (SSP) were 244% and 325% higher, respectively, than those of di-ammonium phosphate (DAP).

**Key words:** phosphate; cotton; soil; phosphorus efficiency; yield

磷是棉花生长发育必需的植物营养元素之一,也是新疆棉花高产的第二限制因子<sup>[1]</sup>。植物吸收利用的是土壤中的有效磷,土壤有效磷的消长取决于土壤磷素的收支状况,而其消长速度取决于土壤性质。为了获得作物持续的高产稳产,必

须建立起有效的土壤磷库,使土壤肥力逐步提高,施用磷肥是建立土壤有效磷库的主要措施。刘方等人<sup>[2]</sup>在黄壤旱地的长期施磷试验表明,施用磷肥能增加无机磷占全磷的比例,同时增加土壤有效磷的含量;慕韩峰<sup>[3]</sup>对黄土旱塬长期定位

收稿日期:2009-05-28 作者简介:陈波浪(1979-),男,在读博士, [bolangch@yahoo.com.cn](mailto:bolangch@yahoo.com.cn); \*通讯作者: [sjd\\_2004@126.com](mailto:sjd_2004@126.com)

基金项目:新疆维吾尔自治区高等学校科研计划重点项目(XJEDU2006I29),新疆维吾尔自治区“十一五”重大专项(200731133-2),新疆维吾尔自治区高校青年启动项目“盐渍化棉田土壤磷素有效性研究”(XJEDU2008S17)和新疆维吾尔自治区土壤学重点学科资助

施肥的结果显示,长期合理施用磷肥可显著扩大土壤中的有效磷库。

磷肥施入土壤后经过一系列的化学、物理化学或生物化学过程,形成难溶性的磷酸盐并迅速被土壤矿物吸附固定或被微生物固持,其在当季作物的利用率仅为10%~25%<sup>[4]</sup>。同时,磷肥的有效性和作物产量还与磷肥本身组成、形态及数量有关。郭忠勇<sup>[5]</sup>的根箱栽培试验显示,两种形态磷肥对土壤的速效磷的贡献为磷酸二氢钾大于植酸钠;刘世亮<sup>[6]</sup>研究不同磷源对石灰性土壤供磷能力的影响结果表明,磷肥的有效性为磷酸二铵 > 重过磷酸钙 > 钙镁磷肥 > 氟磷灰石;新疆农垦科学院<sup>[7]</sup>应用同位素 <sup>32</sup>P 标注肥料和放射性同位素自显影技术研究了滴灌专用肥和磷酸二铵中的磷在土壤中的移动性和利用率,发现滴灌专用肥中磷的移动性和利用率均高于磷酸二铵;张炎等<sup>[8]</sup>和李俊杰等人<sup>[9]</sup>研究了不同磷肥用量对棉田土壤磷素形态和棉花产量的影响,其结果表明,增施磷肥能提高土壤磷素有效性。但关于不同磷肥品种以及超大量磷肥施用条件下棉田磷素有效性及棉花产量的变化还缺乏田间试验。针对这一问题,采用田间试验进行了磷酸二铵和重过磷酸钙不同用量尤其是超大量条件下棉田土壤磷素有效性和棉花产量变化的研究,以期为新疆棉区磷肥的合理施用提供可靠依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试土壤与棉花品种

试验在新疆维吾尔自治区昌吉州呼图壁县二十里店镇红星村的壤质棉田进行。棉花品种为新陆早24号。2007年4月22日播种,5月中上旬间苗,定苗密度为19.5万株·hm<sup>-2</sup>。土壤耕层有机质含量19.4 g·kg<sup>-1</sup>,全氮1.3 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮51.7 mg·kg<sup>-1</sup>,全磷0.77 g·kg<sup>-1</sup>,速效磷5.4 mg·kg<sup>-1</sup>,全钾21.4 g·kg<sup>-1</sup>,速效钾370 mg·kg<sup>-1</sup>,pH为7.8,粘粒含量为16.4%。

### 1.2 试验设计与管理

试验选择磷酸二铵(含46%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)和重过磷酸钙(含46%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)两个磷肥类型,分别设(按P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>计算):0 kg·hm<sup>-2</sup>(P<sub>0</sub>)、75 kg·hm<sup>-2</sup>(P<sub>1</sub>)、150 kg·hm<sup>-2</sup>(P<sub>2</sub>)、300 kg·hm<sup>-2</sup>(P<sub>3</sub>)、600 kg·hm<sup>-2</sup>(P<sub>4</sub>)、1200 kg·

hm<sup>-2</sup>(P<sub>5</sub>)、2400 kg·hm<sup>-2</sup>(P<sub>6</sub>)7个处理,随机区组排列,重复3次。小区面积为8 m<sup>2</sup>。氮肥用尿素,用量按600 kg·hm<sup>-2</sup>施入,钾肥用硫酸钾,用量按120 kg·hm<sup>-2</sup>施入。氮肥50%作为基肥,50%作为追肥,磷肥和钾肥全部作为基肥施用。试验田其它管理与当地措施一致。定期采集植株样和土样进行室内分析。在生育期内,分别于苗期、蕾期、花铃期和吐絮期取样测定植株干物重。在苗期,每个处理各选10株,以后每个处理选6株。从子叶节剪取地上部分,每个处理各选3株取根,方法是用铁铲垂直切下,切入深度根据根系生长而定,尽量取到以肉眼看不见毛细根为止,挖出根层的全部土壤,用土壤筛筛出根系后洗净,回到试验室将地上部分和地下部分分开,放在烘箱中按常规方法烘干至恒重,然后分别称重。

### 1.3 分析项目与方法

土壤有效磷用0.5 mol·L<sup>-1</sup> NaHCO<sub>3</sub>提取,钼锑抗比色法测定<sup>[10]</sup>;土壤全磷用硫酸-双氧水消化,钼锑抗比色法测定;土壤有机质用硫酸重铬酸钾外加热法测定;土壤全氮、全钾、碱解氮、有效钾测定均用常规分析方法;土壤pH值用水浸提(水土比为1:1)电位法测定;磷的活化系数<sup>[11]</sup>(phosphorus activation coefficient,简称PAC)=土壤速效磷含量×100/土壤的全磷含量/1000。

## 2 结果与分析

### 2.1 施磷对土壤速效磷的影响

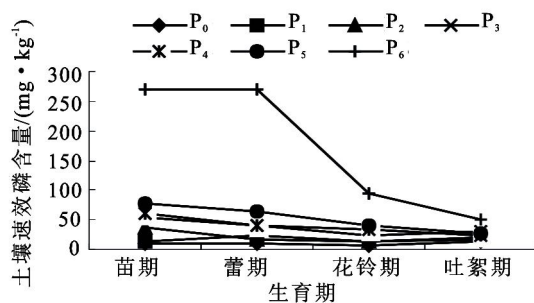
施用磷肥能增加土壤磷库的容量,提高磷的有效性。由表1可知,重过磷酸钙各处理土壤速效磷含量增加的幅度很大,尤其高量施肥处理(P<sub>6</sub>)在苗期和蕾期达到270 mg·kg<sup>-1</sup>;磷酸二铵各处理土壤速效磷含量远远小于重过磷酸钙施肥处理,其高量施肥处理(P<sub>6</sub>)在苗期和蕾期仅达到78.2和52.7 mg·kg<sup>-1</sup>。两种肥料的低量施肥处理(P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>)与对照(P<sub>0</sub>)相比在不同生育期差异均不显著,其它处理在苗期和蕾期与对照相比均显著提高土壤速效磷含量,表明低量施肥不能显著提高土壤速效磷的含量。但在花铃期和吐絮期,两种肥料的施肥处理土壤速效磷含量大都差异不显著,表明施肥在中前期对土壤速效磷的贡献大于后期。

表 1 施磷对棉田土壤速效磷的影响

处理	苗期		蕾期		花铃期		吐絮期	
	重过磷酸钙	磷酸二铵	重过磷酸钙	磷酸二铵	重过磷酸钙	磷酸二铵	重过磷酸钙	磷酸二铵
P <sub>0</sub>	9.0 <sup>d</sup>	7.7 <sup>c</sup>	11.7 <sup>d</sup>	10.8 <sup>c</sup>	8.0 <sup>c</sup>	8.8 <sup>b</sup>	12.6 <sup>b</sup>	11.7 <sup>a</sup>
P <sub>1</sub>	14.1 <sup>d</sup>	10.9 <sup>bc</sup>	22.3 <sup>c</sup>	15.9 <sup>c</sup>	12.7 <sup>c</sup>	12.6 <sup>b</sup>	15.3 <sup>b</sup>	14.4 <sup>a</sup>
P <sub>2</sub>	36.2 <sup>cd</sup>	17.6 <sup>bc</sup>	18.3 <sup>c</sup>	12.6 <sup>c</sup>	12.2 <sup>c</sup>	12.3 <sup>b</sup>	19.7 <sup>b</sup>	13.1 <sup>a</sup>
P <sub>3</sub>	54.4 <sup>bc</sup>	14.0 <sup>bc</sup>	41.7 <sup>bc</sup>	15.2 <sup>c</sup>	24.5 <sup>c</sup>	9.2 <sup>b</sup>	30.0 <sup>ab</sup>	11.7 <sup>a</sup>
P <sub>4</sub>	61.1 <sup>b</sup>	26.1 <sup>b</sup>	40.9 <sup>bc</sup>	22.2 <sup>bc</sup>	32.1 <sup>c</sup>	10.5 <sup>b</sup>	23.8 <sup>ab</sup>	15.6 <sup>a</sup>
P <sub>5</sub>	78.0 <sup>b</sup>	27.0 <sup>b</sup>	65.1 <sup>b</sup>	37.5 <sup>ab</sup>	42.0 <sup>bc</sup>	14.9 <sup>b</sup>	25.3 <sup>ab</sup>	14.6 <sup>a</sup>
P <sub>6</sub>	271.2 <sup>a</sup>	78.2 <sup>a</sup>	269.0 <sup>a</sup>	52.7 <sup>a</sup>	93.6 <sup>a</sup>	43.1 <sup>a</sup>	48.9 <sup>a</sup>	24.1 <sup>a</sup>

注:同一列中数值后的不同字母表示处理间在 5% 水平下的差异显著性,下同。

棉田土壤速效磷随生育期的变化(图 1):两种肥料均是高量施肥处理(P<sub>6</sub>)土壤速效磷随棉花生育期的推进含量快速降低,而其它处理随着生育期土壤速效磷缓慢降低,其中 P<sub>0</sub>、P<sub>1</sub> 处理在整个生育期土壤速效磷变化幅度较小,而 P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>、P<sub>5</sub> 在整个生育期变化幅度较大。其中,重过磷酸钙的高量施肥处理(P<sub>6</sub>)的速效磷从苗期的 271.2 mg·kg<sup>-1</sup> 降低到吐絮期的 48.9 mg·kg<sup>-1</sup>,而 P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>、P<sub>5</sub> 处理从苗期的 36.2~78 mg·kg<sup>-1</sup> 降低到吐絮期的 19.7~30 mg·kg<sup>-1</sup>。



对于磷酸二铵高量施肥处理(P<sub>6</sub>)的速效磷从苗期的 78.2 mg·kg<sup>-1</sup> 降低到吐絮期的 24.1 mg·kg<sup>-1</sup>,而 P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>、P<sub>5</sub> 处理从苗期的 10.9~27 mg·kg<sup>-1</sup> 降低到吐絮期的 11.7~14.6 mg·kg<sup>-1</sup>。出现这种现象可能有两方面的原因,首先,低量施肥处理由于生育期温度和灌溉等原因,土壤固定态磷的活化速度提高,能够保持土壤速效磷不因作物吸收而快速降低;而高量施肥处理主要是磷素固定导致土壤速效磷快速降低,这与石灰性土壤对磷的固定和缓冲能力强具有密切的关系。

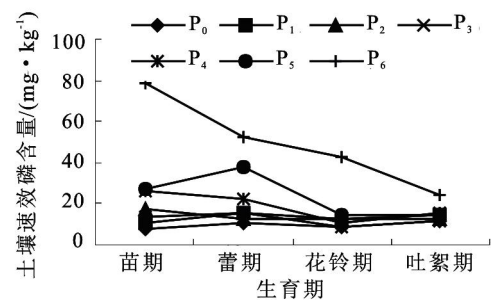


图 1 不同生育期土壤速效磷变化(左:施重过磷酸钙;右:施磷酸二铵)

Fig.1 The change of available phosphorus in soil in the whole growth period (left: SSP, right: DAP)

## 2.2 施磷对土壤全磷的影响

土壤全磷是土壤无机磷素和有机磷素的总和,能反映土壤磷库大小和潜在的供磷能力。由表 2 可知,两种磷肥对全磷的增幅没有速效磷明显。与对照相比,在 P<sub>1</sub> 至 P<sub>4</sub> 施磷范围内土壤全磷含量没有显著差异,只有高量施磷处理(各时期 P<sub>6</sub> 处理和部分时期 P<sub>5</sub> 处理)才能显著增加土壤全磷含量,平均比对照处理增加 70.0%。但过量施用磷肥会增加投资成本,本着经济节约的原则,综合比较表 1 和表 2 的测定结果,施磷量控制在 P<sub>2</sub> 处理既能提高速效磷的有效性又能增加土壤

磷库。

棉田土壤全磷随生育期的变化(图 2):施用重过磷酸钙的 P<sub>1</sub> 至 P<sub>5</sub> 处理,棉田土壤全磷含量随生育期推进,呈现一个先降低后升高再降低的曲线变化过程,蕾期全磷含量最低,花铃期全磷含量最高;对照处理和 P<sub>6</sub> 变化一致,即随生育期推进在花铃期达最大值;施磷酸二铵的 P<sub>6</sub>、P<sub>3</sub>、P<sub>2</sub> 和对照处理,土壤全磷含量变化也呈现一个先降低后升高再降低的曲线变化过程;P<sub>1</sub> 处理全磷含量在花铃期土壤全磷达最大值,而 P<sub>4</sub> 和 P<sub>5</sub> 处理全磷含量变化相似,均在蕾期达最大值。土壤全

表 2 施磷对棉田全磷的影响

Table 2 The effect of phosphate fertilizer on total soil phosphorous

g·kg<sup>-1</sup>

处理	苗期		蕾期		花铃期		吐絮期	
	重过磷酸钙	磷酸二铵	重过磷酸钙	磷酸二铵	重过磷酸钙	磷酸二铵	重过磷酸钙	磷酸二铵
P <sub>0</sub>	0.7530 <sup>b</sup>	0.7661 <sup>d</sup>	0.7547 <sup>b</sup>	0.6575 <sup>b</sup>	1.0519 <sup>b</sup>	0.8547 <sup>b</sup>	0.8032 <sup>b</sup>	0.7330 <sup>b</sup>
P <sub>1</sub>	0.7381 <sup>b</sup>	0.7943 <sup>d</sup>	0.7694 <sup>b</sup>	0.8454 <sup>ab</sup>	0.9010 <sup>b</sup>	1.0554 <sup>ab</sup>	0.8634 <sup>ab</sup>	0.8204 <sup>ab</sup>
P <sub>2</sub>	0.8141 <sup>b</sup>	0.8023 <sup>cd</sup>	0.8008 <sup>b</sup>	0.7729 <sup>ab</sup>	0.8180 <sup>b</sup>	0.9489 <sup>b</sup>	0.8184 <sup>ab</sup>	0.7585 <sup>b</sup>
P <sub>3</sub>	0.8691 <sup>b</sup>	0.8509 <sup>cd</sup>	0.7858 <sup>b</sup>	0.7496 <sup>b</sup>	1.0019 <sup>b</sup>	0.8915 <sup>b</sup>	0.9807 <sup>a</sup>	0.7924 <sup>ab</sup>
P <sub>4</sub>	0.9124 <sup>b</sup>	0.9780 <sup>bc</sup>	0.8435 <sup>b</sup>	1.0375 <sup>ab</sup>	1.0767 <sup>b</sup>	0.9248 <sup>b</sup>	0.9138 <sup>ab</sup>	0.8120 <sup>ab</sup>
P <sub>5</sub>	1.0805 <sup>ab</sup>	1.1184 <sup>b</sup>	0.8330 <sup>b</sup>	1.2839 <sup>a</sup>	1.1280 <sup>b</sup>	1.1929 <sup>ab</sup>	0.9027 <sup>ab</sup>	0.7595 <sup>b</sup>
P <sub>6</sub>	1.4109 <sup>a</sup>	1.5481 <sup>a</sup>	1.4951 <sup>a</sup>	1.0431 <sup>ab</sup>	1.6798 <sup>a</sup>	1.3821 <sup>a</sup>	0.9772 <sup>ab</sup>	1.0708 <sup>a</sup>

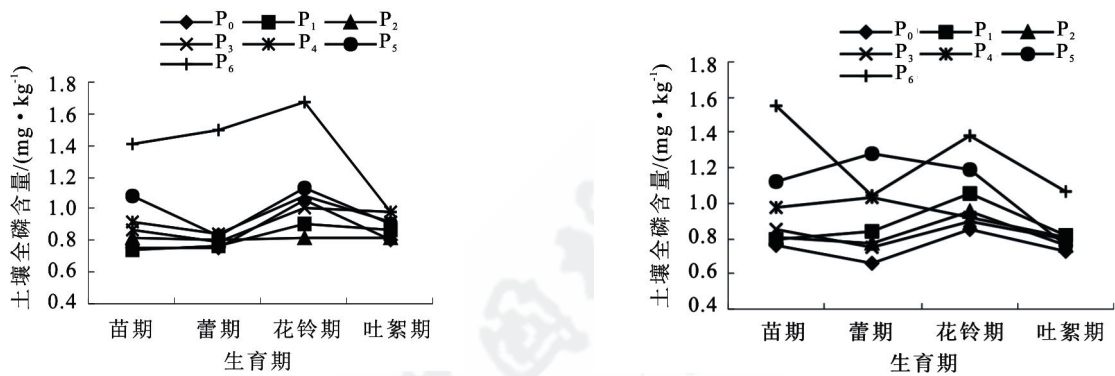


图 2 不同生育期土壤全磷变化(左:重过磷酸钙;右:磷酸二铵)

Fig.2 The change of total soil phosphorus in the whole growth period(left:SSP; right:DAP)

磷在不同生育期的变化可能与土壤施肥的均一度和其空间变异性有关。但两种磷肥在整个生育期对全磷的贡献差异不明显。

全磷和速效磷是用以衡量土壤磷素状态的两个重要指标,用速效磷与全磷之比作为土壤磷素活化系数(PAC),是用来表征土壤磷素有效性的一个相对指标。由表 1 和表 2 可知,PAC 随施磷量的增加而增大,随生育期的推进呈现下降趋势,这也充分体现磷肥施入土壤后特易固定的特性,两种磷肥对 PAC 的贡献与对速效磷的贡献一致,即施重过磷酸钙的棉田土壤 PAC 比磷酸二铵大,在常规施磷处理(P<sub>2</sub>)下,重过磷酸钙棉田苗

期、蕾期和吐絮期土壤 PAC 含量分别比磷酸二铵棉田土壤的 PAC 含量提高了 105.6%、45.3%和 50.0%。

### 2.3 施磷对棉花产量的影响

施磷对棉花产量的影响结果见表 3。从总趋势来看棉花产量随施磷量有增加趋势,但过量施肥会增加成本。其中,重过磷酸钙施磷各处理子棉产量均显著高于对照处理,但各施磷处理之间子棉产量差异没达显著水平。而磷酸二铵各处理之间产量差异均不显著。两种肥料之间相比,虽然施重过磷酸钙棉花产量比施磷酸二铵略高,但达不到显著水平(P>0.05)。

表 3 施磷对棉花产量的影响

Table 3 The effect of phosphate fertilizer on cotton production

kg·hm<sup>-2</sup>

处理	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>
重过磷酸钙	3627 <sup>b</sup>	4784 <sup>a</sup>	4626 <sup>a</sup>	5046 <sup>a</sup>	5152 <sup>a</sup>	4486 <sup>a</sup>	4381 <sup>a</sup>
增加 /%	—	32	28	39	42	23	21
磷酸二铵	3627 <sup>a</sup>	4363 <sup>a</sup>	4205 <sup>a</sup>	4468 <sup>a</sup>	4521 <sup>a</sup>	4153 <sup>a</sup>	4213 <sup>a</sup>
增加 /%	—	20	16	23	25	14	16

## 2.4 施磷对棉花干重的影响

试验中分别测定了不同施磷处理在不同生育时期棉花地上部和地下部的干物质积累状况(表 4、表 5)。结果表明,各种施磷条件下棉花地上部和地下部的干物质增长速率都有一个由慢到快再到慢的过程,即呈“S”曲线增长特征,这与张旺峰等<sup>[12]</sup>对高产棉花干物质积累研究的结果一致。施磷对棉花干物质的影响因磷肥种类、棉花生育期和棉花部位不同而各异。其中,施用重过磷酸钙的棉田,只有苗期地上部干物重和地下部干物重高于对照处理,其它生育期没有明显的规律性,而且棉株干物质积累与施磷量没有明显的线性上升关系,过量施磷并不利于干物质积累。相比而言, $P_1$ 和 $P_2$ 处理较优,分别比对照增加了 5.9 和 3.6  $g \cdot 株^{-1}$ ,各处理各生育期的根冠比没有

明显差异,基本上在 0.2 左右。棉花的花铃期和吐絮期是干物质积累的主要时期,该两期合计,各处理地上部干物重和地下部干物重分别占全生育期干重的 83.8% 和 80.0%。

施用磷酸二铵的棉田,苗期和吐絮期地上部和地下部干物重高于对照处理,而在吐絮期均达显著性的差异。与施用重过磷酸钙的棉田一样, $P_1$ 和 $P_2$ 处理中干物质积累显著高于其它处理,分别比对照处理高 18.5% 和 31.2%。根冠比变化也与施用重过磷酸钙的棉田一致,基本上维持在 0.2 左右。干物质积累的关键时期也是出现在花铃期和吐絮期,两期合计各处理地上部干物重和地下部干物重分别平均占全生育期干重的 85.5% 和 85.0%。

表 4 不同用量重过磷酸钙对棉花干重的影响

Table 4 The effect of applying different single super phosphate (SSP) rate on dry matter

处理	地上部干重/(g·株 <sup>-1</sup> )				地下部干重/(g·株 <sup>-1</sup> )				根冠比			
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
$P_0$	0.45 <sup>b</sup>	5.02 <sup>ab</sup>	12.89 <sup>b</sup>	15.06 <sup>ab</sup>	0.12 <sup>a</sup>	1.17 <sup>a</sup>	2.75 <sup>b</sup>	2.63 <sup>a</sup>	0.28	0.23	0.21	0.17
$P_1$	0.97 <sup>a</sup>	5.47 <sup>a</sup>	18.02 <sup>a</sup>	13.67 <sup>b</sup>	0.31 <sup>a</sup>	1.16 <sup>a</sup>	3.96 <sup>a</sup>	2.29 <sup>ab</sup>	0.32	0.21	0.22	0.17
$P_2$	0.84 <sup>a</sup>	3.44 <sup>c</sup>	14.63 <sup>b</sup>	18.46 <sup>a</sup>	0.27 <sup>a</sup>	0.67 <sup>b</sup>	3.48 <sup>a</sup>	1.80 <sup>b</sup>	0.32	0.19	0.24	0.10
$P_3$	0.68 <sup>ab</sup>	4.30 <sup>b</sup>	10.31 <sup>c</sup>	13.24 <sup>b</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.92 <sup>a</sup>	2.82 <sup>ab</sup>	2.65 <sup>a</sup>	0.33	0.21	0.27	0.20
$P_4$	0.97 <sup>a</sup>	4.56 <sup>b</sup>	16.61 <sup>a</sup>	9.40 <sup>c</sup>	0.28 <sup>a</sup>	0.83 <sup>ab</sup>	3.30 <sup>a</sup>	1.98 <sup>b</sup>	0.29	0.18	0.20	0.21
$P_5$	0.91 <sup>a</sup>	4.86 <sup>b</sup>	12.95 <sup>b</sup>	16.02 <sup>a</sup>	0.23 <sup>a</sup>	1.01 <sup>a</sup>	1.85 <sup>b</sup>	2.49 <sup>a</sup>	0.25	0.21	0.14	0.16
$P_6$	0.62 <sup>ab</sup>	4.77 <sup>b</sup>	13.08 <sup>b</sup>	13.46 <sup>b</sup>	0.24 <sup>a</sup>	1.95 <sup>a</sup>	2.51 <sup>b</sup>	2.59 <sup>a</sup>	0.39	0.41	0.19	0.19

表 5 不同用量磷酸二铵对棉花干重的影响

Table 5 The effect of applying different di-ammonium phosphate (DAP) rate on dry matter

处理	地上部干重/(g·株 <sup>-1</sup> )				地下部干重/(g·株 <sup>-1</sup> )				根冠比			
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期
$P_0$	0.65 <sup>b</sup>	5.26 <sup>a</sup>	19.79 <sup>a</sup>	8.09 <sup>d</sup>	0.15 <sup>a</sup>	1.08 <sup>a</sup>	3.81 <sup>a</sup>	1.59 <sup>c</sup>	0.23	0.21	0.19	0.20
$P_1$	0.86 <sup>ab</sup>	5.56 <sup>a</sup>	14.50 <sup>b</sup>	18.33 <sup>b</sup>	0.28 <sup>a</sup>	0.99 <sup>a</sup>	3.15 <sup>a</sup>	4.24 <sup>a</sup>	0.32	0.18	0.22	0.23
$P_2$	1.05 <sup>a</sup>	4.97 <sup>a</sup>	18.54 <sup>a</sup>	21.81 <sup>a</sup>	0.32 <sup>a</sup>	0.78 <sup>a</sup>	2.68 <sup>b</sup>	2.89 <sup>b</sup>	0.31	0.16	0.14	0.13
$P_3$	0.68 <sup>ab</sup>	4.35 <sup>b</sup>	12.36 <sup>c</sup>	16.22 <sup>b</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.75 <sup>a</sup>	2.93 <sup>ab</sup>	3.07 <sup>ab</sup>	0.32	0.17	0.24	0.19
$P_4$	1.05 <sup>a</sup>	3.85 <sup>b</sup>	14.91 <sup>b</sup>	17.53 <sup>b</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.83 <sup>a</sup>	2.81 <sup>ab</sup>	2.45 <sup>b</sup>	0.21	0.22	0.19	0.14
$P_5$	0.73 <sup>ab</sup>	4.54 <sup>ab</sup>	15.67 <sup>b</sup>	12.52 <sup>c</sup>	0.18 <sup>a</sup>	0.42 <sup>b</sup>	3.22 <sup>a</sup>	2.57 <sup>b</sup>	0.24	0.09	0.21	0.21
$P_6$	0.66 <sup>b</sup>	3.78 <sup>b</sup>	14.81 <sup>b</sup>	20.98 <sup>a</sup>	0.22 <sup>a</sup>	0.69 <sup>ab</sup>	3.03 <sup>ab</sup>	2.01 <sup>bc</sup>	0.33	0.18	0.20	0.10

## 2.5 施磷对棉花磷素吸收及分配的影响

两种肥料不同用量对棉花磷素吸收及分配的影响(表 6、7)的方差分析结果显示,施用重过磷酸钙的棉田各处理在苗期地上部分和地下部分以及整株均显著高于对照处理,而在其它 3 个

生育期地上部、地下部以及整株的比较没有明显的规律性。4 个时期相比,地上部、地下部和整株均表现为花铃期>吐絮期>蕾期>苗期。其中,各处理花铃期和吐絮期合计,地上部和地下部吸磷量占全生育期总吸磷量的 80.0% 和 80.6%。

表6 不同用量重过磷酸钙对棉花磷素吸收及分配的影响

Table 6 The effect of applying different SSP rate on phosphorous absorption and distribution

处理	地上部吸磷量/(mg·株 <sup>-1</sup> )				地下部吸磷量/(mg·株 <sup>-1</sup> )				整株吸磷量/(mg·株 <sup>-1</sup> )				
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	总和
P <sub>0</sub>	1.88 <sup>d</sup>	12.82 <sup>ab</sup>	46.59 <sup>b</sup>	24.74 <sup>bc</sup>	0.35 <sup>b</sup>	2.75 <sup>a</sup>	6.31 <sup>b</sup>	6.42 <sup>a</sup>	2.23 <sup>c</sup>	15.57 <sup>ab</sup>	52.90 <sup>b</sup>	31.15 <sup>b</sup>	101.85 <sup>b</sup>
P <sub>1</sub>	4.82 <sup>c</sup>	15.65 <sup>a</sup>	62.39 <sup>a</sup>	27.74 <sup>bc</sup>	1.12 <sup>a</sup>	2.15 <sup>a</sup>	11.56 <sup>a</sup>	3.58 <sup>b</sup>	5.93 <sup>b</sup>	17.80 <sup>a</sup>	73.95 <sup>a</sup>	31.32 <sup>b</sup>	129.00 <sup>a</sup>
P <sub>2</sub>	5.86 <sup>bc</sup>	8.95 <sup>bc</sup>	48.26 <sup>b</sup>	54.37 <sup>a</sup>	1.97 <sup>a</sup>	1.33 <sup>b</sup>	10.58 <sup>a</sup>	3.24 <sup>b</sup>	7.83 <sup>b</sup>	10.27 <sup>b</sup>	58.83 <sup>b</sup>	57.61 <sup>a</sup>	134.54 <sup>a</sup>
P <sub>3</sub>	5.13 <sup>c</sup>	10.05 <sup>b</sup>	30.86 <sup>c</sup>	29.73 <sup>b</sup>	0.76 <sup>ab</sup>	1.45 <sup>ab</sup>	4.75 <sup>b</sup>	5.11 <sup>a</sup>	5.90 <sup>b</sup>	11.50 <sup>b</sup>	35.60 <sup>c</sup>	34.84 <sup>b</sup>	87.84 <sup>b</sup>
P <sub>4</sub>	7.27 <sup>b</sup>	11.67 <sup>b</sup>	35.16 <sup>c</sup>	21.42 <sup>c</sup>	1.19 <sup>a</sup>	1.38 <sup>b</sup>	4.86 <sup>b</sup>	2.21 <sup>b</sup>	8.46 <sup>b</sup>	13.05 <sup>b</sup>	40.02 <sup>c</sup>	23.64 <sup>c</sup>	85.17 <sup>b</sup>
P <sub>5</sub>	11.17 <sup>a</sup>	13.56 <sup>ab</sup>	34.96 <sup>c</sup>	33.05 <sup>b</sup>	0.56 <sup>ab</sup>	1.73 <sup>ab</sup>	5.14 <sup>b</sup>	3.50 <sup>b</sup>	11.72 <sup>a</sup>	15.28 <sup>ab</sup>	40.10 <sup>c</sup>	36.55 <sup>b</sup>	103.65 <sup>b</sup>
P <sub>6</sub>	6.27 <sup>b</sup>	6.05 <sup>c</sup>	39.23 <sup>bc</sup>	27.33 <sup>bc</sup>	0.50 <sup>ab</sup>	1.05 <sup>ab</sup>	6.95 <sup>b</sup>	3.49 <sup>b</sup>	6.77 <sup>b</sup>	7.10 <sup>c</sup>	46.18 <sup>bc</sup>	30.82 <sup>b</sup>	90.87 <sup>b</sup>

表7 不同用量磷酸二铵对棉花磷素吸收及分配的影响

Table 7 The effect of applying DAP rate on phosphorous absorption and distribution

处理	地上部磷含量/(mg·株 <sup>-1</sup> )				地下部磷含量/(mg·株 <sup>-1</sup> )				整株含磷量/(mg·株 <sup>-1</sup> )				
	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	苗期	蕾期	花铃期	吐絮期	总和
P <sub>0</sub>	3.27 <sup>b</sup>	5.60 <sup>b</sup>	50.30 <sup>ab</sup>	21.78 <sup>d</sup>	0.69 <sup>b</sup>	2.48 <sup>a</sup>	9.64 <sup>a</sup>	3.33 <sup>d</sup>	3.96 <sup>c</sup>	8.08 <sup>b</sup>	59.95 <sup>a</sup>	25.11 <sup>d</sup>	97.11 <sup>c</sup>
P <sub>1</sub>	3.67 <sup>b</sup>	10.04 <sup>a</sup>	42.72 <sup>b</sup>	37.16 <sup>c</sup>	1.23 <sup>b</sup>	1.34 <sup>b</sup>	6.85 <sup>bc</sup>	8.21 <sup>a</sup>	4.89 <sup>bc</sup>	11.38 <sup>ab</sup>	49.56 <sup>b</sup>	45.37 <sup>c</sup>	111.21 <sup>c</sup>
P <sub>2</sub>	6.41 <sup>a</sup>	10.97 <sup>a</sup>	55.03 <sup>a</sup>	57.42 <sup>a</sup>	2.21 <sup>a</sup>	1.24 <sup>b</sup>	7.28 <sup>bc</sup>	5.45 <sup>c</sup>	8.62 <sup>a</sup>	12.21 <sup>ab</sup>	62.31 <sup>a</sup>	62.87 <sup>a</sup>	146.00 <sup>a</sup>
P <sub>3</sub>	3.93 <sup>b</sup>	12.79 <sup>a</sup>	39.43 <sup>b</sup>	47.59 <sup>b</sup>	1.38 <sup>b</sup>	0.77 <sup>b</sup>	7.12 <sup>bc</sup>	6.79 <sup>b</sup>	5.31 <sup>b</sup>	13.55 <sup>a</sup>	46.55 <sup>bc</sup>	54.38 <sup>b</sup>	119.80 <sup>bc</sup>
P <sub>4</sub>	5.89 <sup>a</sup>	10.53 <sup>a</sup>	52.20 <sup>a</sup>	53.29 <sup>a</sup>	1.03 <sup>b</sup>	1.18 <sup>b</sup>	7.95 <sup>b</sup>	5.26 <sup>c</sup>	6.93 <sup>ab</sup>	11.71 <sup>ab</sup>	60.15 <sup>a</sup>	58.55 <sup>a</sup>	137.33 <sup>ab</sup>
P <sub>5</sub>	4.12 <sup>b</sup>	9.80 <sup>a</sup>	30.15 <sup>c</sup>	35.78 <sup>c</sup>	1.01 <sup>b</sup>	0.83 <sup>b</sup>	5.98 <sup>c</sup>	6.15 <sup>bc</sup>	5.13 <sup>bc</sup>	10.64 <sup>b</sup>	36.13 <sup>c</sup>	41.93 <sup>c</sup>	93.38 <sup>c</sup>
P <sub>6</sub>	4.14 <sup>b</sup>	3.56 <sup>b</sup>	47.31 <sup>b</sup>	53.94 <sup>a</sup>	1.03 <sup>b</sup>	0.73 <sup>b</sup>	7.86 <sup>b</sup>	4.10 <sup>cd</sup>	5.17 <sup>bc</sup>	4.29 <sup>c</sup>	55.17 <sup>ab</sup>	58.04 <sup>a</sup>	122.67 <sup>bc</sup>

施用磷酸二铵的棉田各处理在苗期、蕾期和吐絮期地上部吸磷量和苗期与吐絮期地下部吸磷量均高于对照处理,而蕾期和花铃期地下部吸磷量均为对照处理高于其它施磷处理,这可能与磷胁迫诱导根系构建和其转运效率低有关。4个时期相比较,只有对照处理与施重过磷酸钙棉田一致,即地上部、地下部和整株的吸磷量均表现为花铃期>吐絮期>蕾期>苗期。而其它施磷处理有所差异,花铃期和吐絮期地上部、地下部和整株的吸磷量相当,其次为蕾期,再次为苗期,花铃期和吐絮期合计,地上部和地下部的吸磷量平均占全生育期的86.7%和84.4%。

综合比较,两种磷肥、4个时期和7个处理的磷素积累表明,地上部吸磷量大于地下部吸磷量。同时,两种磷肥的不同用量对棉花整株吸磷量总和差异不显著,表明过量施用磷肥并不能显著增加棉株对磷素的吸收。这可能主要是由棉花的遗传因素决定的,即不管施肥量大小,棉花吸收养分的总量变化不大。但相比较而言,两种磷肥中的P<sub>2</sub>处理即可满足棉株对磷素的吸收。

### 3 讨论

土壤速效磷是表征土壤供磷能力、确定磷肥用量和磷流失风险的重要指标,磷肥的施用能提高其含量。本研究结果显示,与对照相比土壤速效磷含量均有所增加。在苗期和蕾期,施磷量在75~150 kg·hm<sup>2</sup>范围之内,土壤速效磷增幅较缓,速效磷平均从15.8 mg·kg<sup>-1</sup>增加到21.2 mg·kg<sup>-1</sup>,再继续提高施磷量,土壤速效磷显著增加。尤其是重过磷酸钙高量施肥处理(2400 kg·hm<sup>2</sup>),在苗期和蕾期重过磷酸钙磷肥达到270 mg·kg<sup>-1</sup>,磷酸二铵磷达到78.2和52.7 mg·kg<sup>-1</sup>,这一结果与张英鹏等<sup>[13]</sup>研究施磷对褐土磷素有效性影响的结果一致。但在花铃期和吐絮期,两种肥料各施肥处理土壤速效磷含量大都差异不显著。在吐絮期土壤速效磷最终变化到一个相对稳定的水平,这与干旱区石灰性土壤对磷素具有很强的固定和缓冲能力有关。综合比较发现,本试验的150 kg·hm<sup>2</sup>处理基本能满足试验地土壤速效磷的供给水平。

关于施磷对棉花吸磷量、干物质积累量和产量的影响,前人作了大量研究<sup>[14-19]</sup>。本试验的研究结果显示,与对照相比,施磷量在 75~600 kg·hm<sup>-2</sup> 范围之内均能显著增加棉花吸磷量、干物质积累量和产量,但过量施磷(大于 1200 kg·hm<sup>-2</sup>),棉花吸磷量和干物质积累量反而有所下降。而施磷在 150 kg·hm<sup>-2</sup> 左右棉花吸磷量、干物质积累量和产量均优于其它处理,这一结果与谭勇等<sup>[18]</sup>、姚银坤等<sup>[19]</sup>、李俊义等<sup>[14]</sup>对南北疆棉花的研究结果一致。

重过磷酸钙和磷酸二铵磷肥是当前农业生产中普遍施用的磷肥。两种磷肥对土壤磷素和棉花的影响结果显示:对棉田土壤速效磷的贡献重过磷酸钙优于磷酸二铵。施用重过磷酸钙肥料的苗期、蕾期、花铃期和吐絮期棉田土壤速效磷含量平均比施用磷酸二铵肥料的棉田高 165.7%、138%、111.8%和 73.5%。这个结果与刘世亮等<sup>[6]</sup>在小麦田的研究结果不一致,这可能与研究区气候因素和土壤理化因素有关,本试验供试土壤的粘粒含量为 16.4%,比其富磷和贫磷小麦地均低。但本试验不同用量处理均呈同一趋势即重过磷酸钙优于磷酸二铵。两种磷肥对土壤全磷和棉花产量的影响差异不明显。对磷素活化系数的贡献与对速效磷的一致,其中常规施磷处理(150 kg·hm<sup>-2</sup>),重过磷酸钙棉田苗期、蕾期和吐絮期的土壤磷素活化系数分别比磷酸二铵棉田土壤提高了 105.6%、45.3%和 50.0%。

#### 4 结论

增施磷肥能增加棉田土壤速效磷、磷素活化系数以及全磷含量,土壤速效磷和磷素活化系数平均比对照处理增加 302%和 180%。但全磷含量只有大于 1200 kg·hm<sup>-2</sup> 才与对照处理存在显著差异。本着经济节约的原则,综合比较各处理土壤速效磷和全磷含量,施磷量控制在 150 kg·hm<sup>-2</sup> 左右既能提高速效磷的有效性又能增加土壤磷库和潜在供磷能力。

增施磷肥能增加棉花产量、吸磷量和干物质的积累量,但过量施用磷肥并不能显著增加棉花产量、吸磷量和干物质积累量。综合比较显示,棉花对磷素的吸收和干物质积累以施磷量 150 kg·

hm<sup>-2</sup> (P<sub>2</sub>)最优,分别比对照处理增加 41%和 20%。

两种磷肥施用效果显示,重过磷酸钙对棉田土壤速效磷含量、磷素活化系数的贡献均高于磷酸二铵,重过磷酸钙处理的棉田速效磷含量和磷素活化系数分别平均比磷酸二铵高 244%和 325%。

#### 参考文献:

- [1] 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):7-11.  
ZHANG Yan, Mao Duan-ming, Wang Jiang-li, et al. Developing status of balanced fertilization technology of cotton in Xinjiang [J]. Soils and Fertilizers, 2003(4):7-11.
- [2] 刘方,黄昌勇,何腾兵,等. 长期施磷对黄壤旱地磷库变化及地表径流中磷浓度的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(2):196-200.  
LIU Fang, Huang Chang-yong, He Teng-bing, et al. Dynamics of upland field P pool under a long-term application of fertilizer P in yellow soil area and their effects on P concentration in runoff [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(2):196-200.
- [3] 慕韩峰,王俊,刘康,等. 黄土旱塬长期施磷对土壤磷素空间分布及有效性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(3):424-430.  
MU Han-feng, Wang Jun, Liu Kang, et al. Effect of long-term fertilization on spatial distribution and availability of soil phosphorus in loess plateau[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2008,14(3):424-430.
- [4] 张宝贵,李贵桐. 土壤生物在土壤磷有效化中的作用[J]. 土壤学报,1998,36(1):102-111.  
ZHANG Bao-gui, Li Gui-tong. Roles of soil organisms on the enhancement of plant availability of soil phosphorus[J]. Acta Pedologica Sinica, 1998,36(1):102-111.
- [5] 郭忠勇,田长彦,胡明芳,等. 不同形态磷肥对棉花生长和 AM 真菌接种效应的影响[J]. 干旱区研究,2008,25(2):196-200.  
GUO Zhong-yong, Tian Chang-yan, Hu Ming-fang, et al. Effects of applying different forms of phosphoric fertilizer on cotton growth and inoculation of AM fungi[J]. Arid Zone Research, 2008,25(2):196-200.
- [6] 刘世亮,介晓磊,李有田,等. 不同磷源在石灰性土壤中的供磷能力及形态转化[J]. 河南农业大学学报,2002,36(4):370-373.  
LIU Shi-liang, Jie Xiao-lei, Li You-tian, et al. Study on bio-availability and transformation of different phosphates in calcareous soils[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2002,36(4):370-373.
- [7] 尹飞虎,康金花,黄子蔚,等. 棉花滴灌随水施滴灌专用肥中

- 磷素的移动和利用率的  $^{32}\text{P}$  研究[J]. 西北农业学报, 2005, 14(5): 199-204.
- YIN Fei-hu, Kang Jin-hua, Huang Zi-wei, et al. Distribution and use efficiency of phosphorus from trickle irrigation fertilizer specific fertigated of trickle irrigated cotton via  $^{32}\text{P}$  tracing technique [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2005, 14(5): 199-204.
- [8] 张 炎, 崔水利, 王讲利, 等. 不同量磷施入不同比例土体中对棉花根系形态和磷吸收的影响[J]. 西北农业学报, 1998, 7(2): 59-62.
- ZHANG Yan, Cui Shui-li, Wang Jiang-li, et al. Effect of different P rate placed in different soil on growth and P uptake of cotton [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 1998, 7(2): 59-62.
- [9] 李俊杰, 陈德强, 艾则孜. 不同磷素含量磷酸二铵对棉花产量和产量因素的影响[J]. 新疆农垦科技, 2008(4): 64-65.
- LI Jun-jie, Chen De-qiang, Ai Ze-zi. Effect of DAP different phosphorus content and yield of cotton production[J]. *Xinjiang Farm Research of Science and Technology*, 2008(4): 64-65.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-114.
- BAO Shi-dan. *Analysis of soil and agricultural chemistry*[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 25-114.
- [11] 陈 新, 梁成华, 张恩平, 等. 长期定位施肥对蔬菜保护地土壤磷素空间分布的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(12): 209-213.
- CHEN Xin, Liang Cheng-hua, Zhang En-ping, et al. Effect of long-term located fertilization on spatial distribution characteristics of phosphorus in vegetable soil[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(12): 209-213.
- [12] 张旺峰, 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.
- ZHANG Wang-feng, Li Meng-chun, Gou Ling, et al. Study on the nutrient absorption characters of cotton with higher productivity in North Xinjiang[J]. *Cotton Science*, 1998, 10(2): 88-95.
- [13] 张英鹏, 陈 清, 李 彦, 等. 不同磷水平对山东褐土耕层无机磷形态及磷有效性的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(7): 245-248.
- ZHANG Ying-peng, Chen Qing, Li Yan, et al. Effect of phosphorus levels on form and bioavailability of inorganic P in plough layer of cinnamon soil in Shandong province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(7): 245-248.
- [14] 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.
- LI Jun-yi, Liu Rong-rong, Wang Run-zhen, et al. Study on phosphite fertilizer optimum dosage and period of cotton in Xinjiang[J]. *China Cotton*, 1999, 26(5): 21-22.
- [15] 程素敏, 吴爱君, 张松林. 棉花分区平衡施肥技术中氮、磷、钾对产量的影响[J]. 中国棉花, 2005, 32(2): 8-9.
- CHENG Su-min, Wu Ai-jun, Zhang Song-lin. Balanced fertilization technology of cotton district of nitrogen, phosphorus and potassium on yield[J]. *China Cotton*, 2005, 32(2): 8-9.
- [16] 白灯莎, 冯 固, 黄金生, 等. 南疆高产棉花营养特征及施肥方式的研究[J]. 中国棉花, 2002, 29(11): 11-13.
- BAI Deng-sha, Feng gu, Huang Jin-sheng, et al. Study of nutritional characteristics and fertilization of high-yielding cotton in South Xinjiang[J]. *China Cotton*, 2002, 29(11): 11-13.
- [17] 吴金桂, 宁运旺, 严建民, 等. 棉花吸磷特征及其肥料效应[J]. 中国棉花, 1996, 23(2): 19-21.
- WU Jin-gui, Ning Yun-wang, Yan Jian-min, et al. Characteristics of phosphorus absorption and fertilizer effect of cotton[J]. *China Cotton*, 1996, 23(2): 19-21.
- [18] 谭 勇, 张 炎, 文启凯, 等. 氮、磷和钾营养对新海 16 长绒棉产量和品质的影响[J]. 土壤肥料, 2006, 42(2): 34-37.
- TAN Yong, Zhang Yan, Wen Qi-kai, et al. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium application on yield and qualities of Xinhai 16 super sea cotton[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2006, 42(2): 34-37.
- [19] 姚银坤, 张 炎, 胡 伟, 等. 施磷对长绒棉干物质积累、分配比例和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008, 44(5): 36-40.
- YAO Yin-kun, Zhang Yan, Hu Wei, et al. Effects of phosphorus application on biomass accumulation, distribution rate and yield of sea island cotton[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2008, 44(5): 36-40. ●