

施磷对棉花磷素吸收、利用和产量的影响

胡国智 张炎 胡伟 李青军 汤明尧

(新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 乌鲁木齐, 830091)

摘要: 通过磷肥不同施用时期和施用量的田间试验, 研究高产棉花吸收磷养分的特点与规律。结果表明: 不同磷肥处理棉株对磷的吸收可以较好地用 Logistic 生长函数模型来拟合。各处理磷素的吸收主要集中在播种后的 62 ~ 99d 内, 这一时期棉花吸收磷的量占生育期总吸收量的 50% 以上, 所以此阶段应特别注重磷的供应。在吐絮期, 棉铃中的磷素随施磷量的增加在一定范围内有所增加, 施磷对棉铃的生长发育有一定影响。但磷素在整个生育期各器官中处理间差异不大。棉株对磷的吸收速率呈双峰曲线, 当生育期进行到花铃期时, 各处理均达到吸收速率最高峰; 此后棉株对磷的吸收速率逐渐降低。而在整个生育时期 OPT 和 OPT1 (秋施磷肥) 处理磷素吸收速率差异不显著。合理地施用磷肥, 可以提高皮棉产量和磷肥利用率; 春施磷肥更有利于提高磷肥利用率与纯收益, 但过量的磷肥施用会降低磷的利用效率和纯收益。

关键词: 磷, 棉花, 磷素吸收, 磷肥利用率

磷是植物生长发育必需的大量营养元素之一, 它以多种方式参与植物体内各种生物化学过程, 对促进植物的生长发育和新陈代谢起着非常重要的作用^[1]。磷肥能够增加棉花产量, 有利于提高棉纤维品质^[2~6]。由于磷在土壤中的扩散系数小, 移动慢, 磷肥的当季利用率一般仅为 10 ~ 25%, 施入土壤中的磷肥大部分以不同形态的磷酸盐残留于土壤^[7], 导致大量未被作物吸收的磷素被土壤固定而累积于土壤。新疆历来被认为是缺氮少磷钾丰富的地区^[8], 但是在生产中农民为了追求棉花的高产, 往往盲目增加磷用量, 尤其是高产棉区, 棉农在棉花上施用磷肥的量有不断加大的趋势, 从而造成土壤磷库丰富, 而磷肥的当季利用率却较低^[9-10]。本文通过田间试

验, 研究不同施磷时期及施磷量对棉花吸磷特性和产量的影响, 为生产中磷肥的合理施用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2008 年安排在新疆玛纳斯县试验站上兵湖村五队, 前茬作物为棉花, 供试品种为新陆早 18 号。株距为 11 厘米, 播幅内宽、窄行距配置为 35-50-35-50 厘米, 一膜 4 行, 理论株数为 14266 株 / 亩, 采取膜下滴灌。试验于 4 月 14 日播种, 由于当年的倒春寒灾害在 5 月 9 日又重新播种。供试土壤为灌耕灰漠土, 供试土壤的养分状况见表 1。

表 1 ASI 法测定供试土壤的养分状况

| pH | 有机质 (%) | 有效养分 (毫克 / 升) | | | | | | | | | | | |
|------|---------|---------------------------------|---------------------------------|------|-------|--------|-------|------|------|-----|-----|-----|------|
| | | NH ₄ ⁺ -N | NO ₃ ⁻ -N | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Cu | Mn | Zn | B |
| 8.08 | 0.9 | 4.9 | 51.1 | 33.3 | 182.3 | 2537.7 | 492.9 | 95.5 | 15.2 | 5.3 | 6.0 | 2.1 | 1.29 |

1.2 试验设计

本试验设5个处理，即秋施磷肥和4个磷水平0、5、10、15公斤/亩处理（以下分别用OPT1和OPT-P、OPT、OPT+2P、OPT+3P表示，其中OPT1和OPT的施磷量相同，OPT是根据土壤测试结果推荐的施磷量），OPT1为秋施肥处理，于2007年11月11施磷肥和微肥深翻。OPT-P、OPT、OPT+2P和OPT+3P处理的磷肥和微肥于2008年4月13日春季基施、深翻，磷肥以三料磷肥（46% P₂O₅）施入，全部作基肥，氮肥用量为12公斤/亩，以尿素（46%N）施入，其中氮肥总量的25%在春播前一次性作基肥施入，剩余的氮肥分4次分别于7月3日、7月14日、8月4日、8月19日按照各施肥处理总氮量的15%、25%、25%、10%随水施入。试验小区面积S=5.1米×8米=40.8平方米，各处理重复3次，在田间随机排列。各处理施肥量见表2。

区随机选取有代表性的棉株3株（苗期取5株），采集棉株地上部分的植株样品，按茎、叶、蕾+花、棉壳、棉纤维、棉子不同器官分离开，在105℃下杀青30分钟，然后70℃下烘干至恒重，称重，记录干物质重。

将烘干的植株样品粉碎，过0.5毫米筛，分析植株不同部位P养分含量。用H₂SO₄-H₂O₂消煮，钼锑抗比色法测定磷。

1.3.2 产量测定

测产方法为每隔3株测一株，计结铃数，计算全区株数、铃数及单株结铃数；棉花吐絮后每小区分3次采收90朵完全吐絮棉桃，测定平均单铃重和衣分，并计算棉花产量。

1.3.3 磷素利用效率分析

(1) 磷素农学效率[公斤/公斤] = (施磷区皮棉产量 - 不施磷区皮棉产量) / 施磷区磷肥用量；

表2 试验各处理施肥方案（公斤/亩）

| 编号 | 处理 | N | P ₂ O ₅ | FeSO ₄ | MnSO ₄ | ZnSO ₄ |
|----|--------|----|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | OPT1 | 12 | 5 | 1.3 | 0.7 | 0.4 |
| 2 | OPT-P | 12 | 0 | 1.3 | 0.7 | 0.4 |
| 3 | OPT | 12 | 5 | 1.3 | 0.7 | 0.4 |
| 4 | OPT+2P | 12 | 10 | 1.3 | 0.7 | 0.4 |
| 5 | OPT+3P | 12 | 15 | 1.3 | 0.7 | 0.4 |

1.3 样品采集与测定

1.3.1 植株样品的采集与测定

在棉花主要生育期：苗期（5月29日）、蕾期（6月18日）、花期（7月9日）、花铃期（7月22日）、盛铃期（8月15日）、吐絮期（9月17日）采集棉株地上部分的植株样品，每小

(2) 磷肥表观利用率[%] = (施磷区作物吸磷量 - 不施磷区作物吸磷量) × 100 / 施磷量；

(3) 磷素偏生产力[公斤/公斤] = 施磷区皮棉产量 / 施磷区磷肥用量。

试验数据采用Excel和DPS软件分析。

表3 磷元素积累的模型及其特征值

| 处理 | t ₀ (天) | t ₁ (天) | t ₂ (天) | Δ t (天) | 方程 | R ² | F |
|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|-------------------------------------|----------------|---------|
| OPT1 | 81 | 63 | 99 | 36 | $y=118.30/(1+e^{(5.935-0.07296t)})$ | 0.9823 | 83.4** |
| OPT-P | 81 | 66 | 96 | 30 | $y=100.66/(1+e^{(7.093-0.08763t)})$ | 0.99221 | 90.8** |
| OPT | 80 | 62 | 99 | 37 | $y=121.24/(1+e^{(5.735-0.0715t)})$ | 0.9842 | 93.4** |
| OPT+2P | 79 | 64 | 95 | 31 | $y=113.50/(1+e^{(6.546-0.0823t)})$ | 0.9867 | 111.0** |
| OPT+3P | 79 | 64 | 95 | 31 | $y=110.71/(1+e^{(6.713-0.0848t)})$ | 0.985 | 98.2** |

注：t 为棉花播种后的天数 (d)，y 为棉花养分积累量 (公斤 / 亩)，t₀ 为养分积累速率最大时刻，t₁ 和 t₂ 分别为 Logistic 生长函数的两个拐点，Δ t=t₂-t₁ 是棉株养分积累旺盛时期。**: 表示达 1% 显著水平。

2 结果与分析

2.1 施磷对棉花磷素吸收的影响

通过对试验结果分析，各处理棉花对磷的吸收均可以用 Logistic 生长函数模型来模拟^[11-13]。

由表 3 可看出，各处理棉株磷素积累速率最大的时刻 t₀ 出现在播种后 79 ~ 81 天，其中 OPT 处理分别比 OPT1 和 OPT-P 处理提前 1 天。各处理磷素的吸收主要集中在播种后的 62 ~ 99 天内 (花期到盛铃期)，这一时期 OPT1、OPT-P、OPT、OPT+2P 和 OPT+3P 各处理分别吸收 4.55 公斤 / 亩、3.76 公斤 / 亩、4.66 公斤 / 亩、4.37 公斤 / 亩、4.26 公斤 / 亩，分别占总生育期的 58.6%、57.4%、58.5%、57.7%、57.3%，其中 OPT1 和 OPT 处理在这一时期对磷素的吸收和所占百分比都是最大的，但两者之间差异不显著，OPT+2P 和 OPT+3P 处理对磷素的吸收量有所下降，说明一次性大量施磷增加了土壤中磷的浓度，反而限制了棉花对磷素的吸收。磷素积累速率的时间特征值 (Δ t) 表现为：OPT > OPT1 > OPT+2 P=OPT+3P > OPT-P，可见磷素供应不足或过量均可缩短

棉株养分积累时期。

2.2 施磷对棉花各生育时期磷素分配的影响

磷素在棉花整个生育期的分配如图 1 所示。苗期，分配到叶中的磷素要远远大于茎中，叶中磷素占到整个分配量的 81.77%—85.3%，施磷各处理差异不大。进入蕾期，茎中磷素分配较苗期有所增加，从苗期的 14.7%—18.23% 增加到蕾期的 17.19%—25.43%，此时期分配到生殖器官蕾中的磷素占总量的 10.15%—11.64%，并且随着施磷量的增加磷素在蕾中的分配百分比也有所上升。花期，茎中磷素的分配率增加到 24.42%—37.16%，而分配到叶中的磷素由蕾期的 64.16%—71.86% 降低到花期的 44.77%—55.75%，其中 OPT-P 由蕾期的 67.62% 下降到花期的 55.75%，而 OPT1、OPT、OPT+2P 和 OPT+3P 处理叶中的磷素分配百分比随磷肥施用量的增加而降低。花期进入营养生长与生殖生长并进时期，其中生殖器官花的磷素分配明显高于蕾期，占到总磷素量的 18.07%—21.51%，并随着磷肥施用量的增加而增加。花铃期和盛铃期是棉花生殖生长的旺盛阶段，在花铃期茎和

叶的磷素分配百分比都有所下降，而生殖器官花铃磷素分配明显高于花期，占到磷素分配量的26.95%–41.26%。在盛铃期分配到营养器官的磷素百分率进一步下降，尤其是分配到叶中的磷素百分率，由花铃期的40.75%–51.26%下降到24.46%–26.77%，OPT1、OPT、OPT+2P

营养器官的百分比降到最低，分配到生殖器官中的磷素占到总量的84.35%–85.52%，棉子磷素分配率迅速增加，由盛铃期25.92%–30.65%增加到吐絮期的57.96%–63.74%，铃壳、纤维中磷素均在施磷量5–15公斤/亩范围内随磷用量增加而逐渐降低。

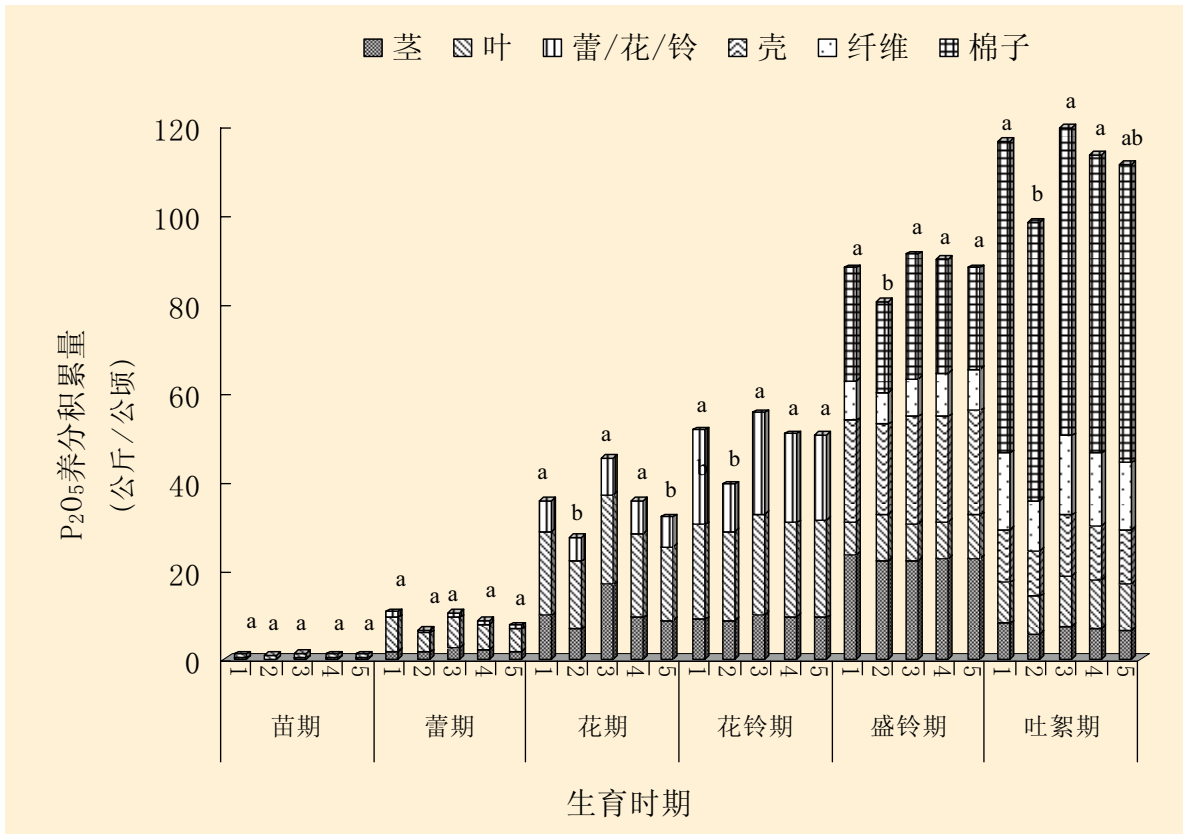


图1 各器官中磷的分配 (不同小写字母表示达到5%的显著水平)

注：横坐标1、2、3、4、5分别表示5个处理，即试验前秋施磷肥5公斤P₂O₅/亩(OPT1)和试验当年春季基施磷肥0、5、10、15公斤P₂O₅/亩(OPT-P、OPT、OPT+2P、OPT+3P)。

和OPT+3P处理的磷素在壳中分配百分率分别比OPT-P高2.83%、3.14%、3.08%、3.35%，各处理之间棉纤维中的磷素分配率差异不大，棉子中磷素分配率在施磷量5~15公斤/亩间随施磷量的增加而降低。进入吐絮期，磷素分配到

2.3 施磷对棉花磷素吸收速率的影响

棉株对磷素的吸收速率呈曲线波动，见图2。棉株从播种后45天以营养生长为主，磷吸收速率也较小；此后其吸收速率的波动较大。磷吸收速率在生育期进行到蕾期时进入速率始增期，此

时各处理磷吸收速率均明显增加；OPT 和 OPT1 处理的吸收速率要高于 OPT-P、OPT+2P、OPT+3P 处理。当生育时期进行到播后 40 天（蕾期）时各处理的吸收速率都呈下降趋势；这可能是由于当时持续高温使酶钝化，影响代谢从而使根系吸收矿质元素的速率下降^[14]。当生育期进行到花铃期时，各处理均达到吸收速率最高峰，各处理磷吸收速率表现为 OPT+3P > OPT1 > OPT+2P > OPT-P，说明一定范围内合理的磷肥施用有利于提高磷素吸收速率。此后棉株对磷的吸收速率逐渐降低。而在整个生育时期 OPT 和 OPT1 处理磷素吸收速率差异不显著。

／亩范围内，可以显著增加棉花的皮棉产量。OPT 处理产量与 OPT-P、OPT+2P 和 OPT+3P 处理产量差异均达到极显著水平，OPT1 处理产量与 OPT、OPT+2P 差异不显著，OPT1、OPT、OPT+2P 和 OPT+3P 分别比 OPT-P 增产 14.6%、17.6%、9.5% 和 2.2%。磷肥表观利用率随磷肥用量的增加而降低，说明过量的磷肥施用不但不能被作物吸收，反而会降低磷肥的利用率，其中 OPT 处理磷肥利用率为 25.71%，OPT1 处理磷肥利用率为 21.56%。同样在磷素偏生产力和磷素农学效率方面，OPT 处理都表现为最大值。OPT 处理比 OPT1 处理纯收益多

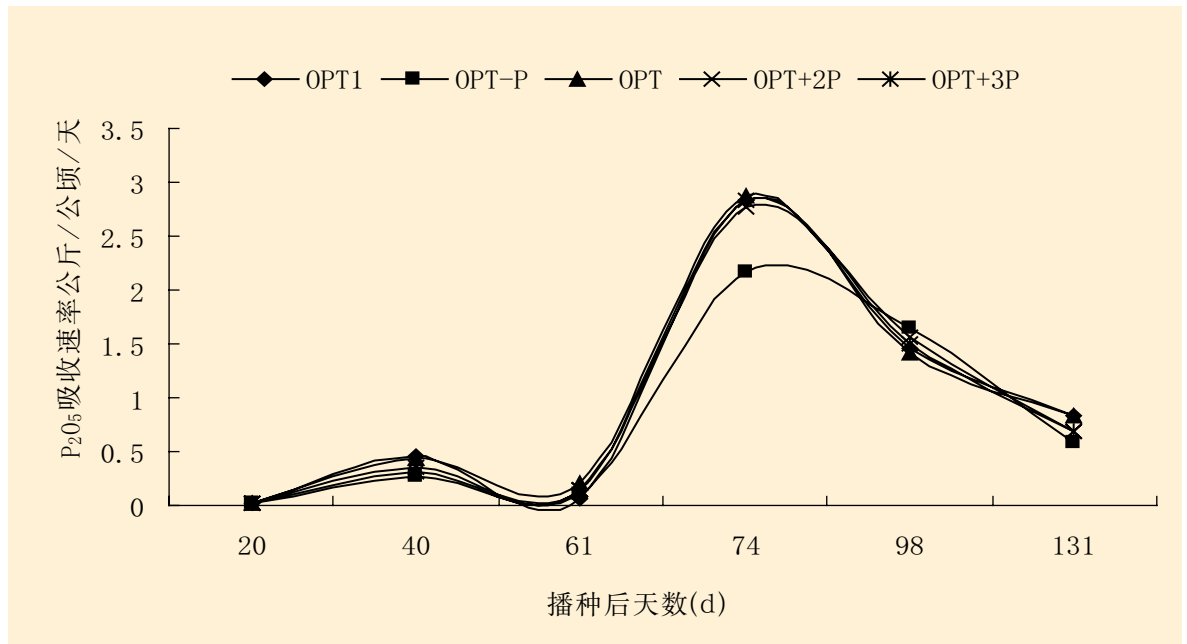


图 2 不同处理棉花磷素吸收速率

2.4 施磷对棉花产量、效益和磷素利用的影响

对各处理棉花小区皮棉产量进行方差分析，试验施磷处理间差异达到极显著水平 (F 值 = 21.82 > F_{0.01})，重复间差异不显著，LSD 法多重比较结果见表 4。磷肥施用量在 0-5 公斤

50 元 / 亩，合理春施磷肥有利于 P₂O₅ 增产和提高磷肥表观利用率。

3 小结与讨论

不同磷肥处理中棉花对磷素的吸收可以用

Logistic 生长函数模型来模拟,且模型拟合较好。各处理磷素的吸收主要集中在播种后的 62 ~ 99 天内,这一时期棉花吸收磷的量占生育期总吸收量的 50% 以上,所以此阶段应特别注重磷的供应。

峰曲线,这与王克如^[15]提出的棉株对磷的吸收速率呈一单峰曲线观点不同,这可能是由于当时(6月18日至7月9日)气温的异常偏高使植物酶钝化,降低了对矿物质的吸收速率。磷吸收速率在生育期进行到蕾期时进入速率始增期,

表 4 不同处理中产量与利用率

| 处理 | 产量 (公斤/亩) | 纯收益 (元/亩) | P ₂ O ₅ 养分吸收量 (公斤/亩) | 磷素偏生产力 (公斤/公斤) | 磷肥表观 利用率(%) | 磷素农学效率 (公斤/公斤) |
|--------|--------------|--------------|---|-------------------|----------------|-------------------|
| OPT1 | 148ab AB | 1804.8 | 116.48a | 29.59 | 21.56 | 3.76 |
| OPT-P | 129c C | 1607.3 | 100.31b | -- | -- | -- |
| OPT | 152a A | 1854.8 | 119.59a | 30.39 | 25.71 | 4.55 |
| OPT+2P | 141b B | 1686.5 | 113.49a | 14.15 | 8.78 | 1.23 |
| OPT+3P | 132c C | 1529.7 | 111.36ab | 8.80 | 4.91 | 0.19 |

注: P₂O₅: 7.50 元/公斤, N: 4.08 元/公斤, 皮棉价格: 12.5 元/公斤, FeSO₄: 0.5 元/公斤, MnSO₄: 4.8 元/公斤, ZnSO₄: 7.2 元/公斤, 大写字母表示达到 1% 的显著水平, 小写字母表示达到 5% 的显著水平, 不同字母表示处理之间的差异显著。

在整个生育时期各处理磷素分配表现为: 在生育初期磷比较集中在茎叶当中并且叶片中的磷素分配量高于茎。蕾期是生殖器官蕾发育的开始并且蕾中的磷素分配率随施磷量的增加而增加。从花期到盛铃期这一段时期是棉花产量形成的主要阶段; 各器官中的磷素含量表现为生殖器官磷素分配率不断增加而营养器官中的磷素分配率有下降的趋势。进入吐絮期, 棉子磷素分配率迅速增加, 由盛铃期的 25.92% - 30.65% 增加到吐絮期的 57.96% - 63.74%, 铃壳、纤维中磷素均在施磷量 5-15 公斤/亩内随用量增加而逐渐降低。

本试验研究表明棉株对磷的吸收速率呈双

峰曲线, 合理的施用磷肥, 可以提高棉花皮棉产量和提高磷肥利用率。春施磷肥更有利于提高磷肥利用率, 这一点可能与土壤磷素浸出率有关, 当磷肥施入石灰性土壤后 1 天测定, NaHCO₃ 浸出的磷只相当于施入磷的 40% ~ 60%, 施肥后 200 天, 浸出率为 25%^[16]。因此在提高磷肥利用率的前提下可采取春施磷肥的方式, 但过量的磷肥施用会降低磷的利用率和纯收益。

OPT 和 OPT1 处理的吸收速率要高于其它处理。当生育期进行到花铃期时, 各处理均达到吸收速率最高峰; 此后棉株对磷的吸收速率逐渐降低。而在整个生育时期 OPT 和 OPT1 处理磷素吸收速率差异不显著。

参考文献

- [1] 丁玉川, 陈明昌, 程滨, 等. 不同大豆品种磷吸收利用特性比较研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(9): 1791-1797.
- [2] Girma K, Teal R.K., Freeman K.W., and Boman R.K., et al.. 2007. Cotton Lint Yield and Quality As Affected by Applications of N, P, K Fertilizers [J]. The Journal of Cotton Science, 2007, 11: 12-19.
- [3] Nichols S.P., Snipes C.E., Jones M.A. Cotton Growth, Lint Yield, and Fiber Quality as Affected by Row Spacing and Cultiva [J]. The Journal of Cotton Science, 2004, 8: 1-12.
- [4] 张旺峰, 李蒙春. 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.
- [5] 付明鑫, 向敏超, 孟凤轩等. 阿克苏棉区不同氮磷钾配比对棉花产量的影响[J]. 西北农业学报 2000, 9(2): 117-120.
- [6] 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, (2): 34-36.
- [7] 王利, 高祥照, 马文奇, 等. 中国低浓度磷肥的使用现状与发展展望[J]. 植物营养与肥料学报 2006, 12(5): 732-737.
- [8] 侯宗贤, 张惠文, 丁英. 新疆土壤有效钾状况与棉花施钾肥效果[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 197-198.
- [9] 王平, 陈新平, 田长彦, 等. 新疆南部地区棉花施肥现状及评价[J]. 干旱区研究, 2005, 6(2): 264-268.
- [10] 张炎, 王讲利, 刘骅. 新疆棉田土壤养分的吸附特征与有效性研究[J]. 水土保持学报, 2005, 10(5): 51.
- [11] 伍维模, 郑德明, 董合林, 等. 南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.
- [12] 郑德明, 姜益娟, 吕双庆, 等. 南疆不同密度下棉花干物质积累及其分配规律研究[J]. 中国棉花, 1999, 26(7): 17-18.
- [13] 李蕾, 娄春恒, 文如镜, 等. 新疆不同密度下棉花N, P吸收及其分配研究[J]. 西北农业学报, 1999, 8(1): 37-39.
- [14] 李德全, 高辉远, 孟庆伟. 植物生理学 [M] 北京: 中国农业科学技术出版社, 1999: 58.
- [15] 王克如, 李少昆, 曹连莆, 等. 新疆高产棉田氮、磷、钾吸收动态及模式初步研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(7): 775-780.
- [16] Ryan J, Hasan H.M, Baasiri M. Availability and transformation of applied phosphorus in calcareous lebanese soils [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1985, 49: 1215-1220.

新疆棉花平衡施肥示范

习惯施肥

国际植物营养研究所 (IPNI) 中国项目
新疆主要作物养分管理与平衡施肥

课题负责人: 张炎
承担单位: 新疆农科院土壤肥料与农业节水研究所
任务和指标: 以新疆主要农作物和特色经济作物为研究对象, 开展新疆土壤养分管理与平衡施肥技术的研究与推广。

推荐施肥
ASI