



研究论文



照片1.完全绽开的棉桃。照片提供: 本文作者。

钾肥施肥量、施肥制度和施肥方法对干旱环境下棉花发育及籽棉产量的影响

Dil Baugh Muhammad⁽¹⁾, Muhammad Naveed Afzal⁽¹⁾, Muhammad Tariq^{(1)*}, and Abdul Wakeel^{(2)(3)*}

摘要

现代的棉花品种需要更多的钾, 盛花期和结铃期缺钾 (K) 会对籽棉产量带来不利影响。本研究的目标是为生长在干旱的轻质土上的现代转基因棉花 (*Bt*-CIM-616) 确定适当的钾肥施用量, 评估分次施钾的影响, 并量化额外的叶面施钾对籽棉产量及产量构成的贡献。在巴基斯坦的木尔坦中央棉花研究所进行了为期两年的 (2014~2015年) 田间试验, 试验分成两组。试验1中, 播种期有三个钾肥施用量 (0, 100和200 kg K₂O ha⁻¹) 或被均分成2次或

4次施用, 施用量分别为50 kg K₂O ha⁻¹ (分成2次于播前和播种后45天施用或分成4次于播前和播种后30, 45, 60天施用)。试验2中, 评估种植前施用0、100、200 kg K₂O ha⁻¹的钾肥, 紧接着四次叶面喷洒2% K₂SO₄对植株结构和产

⁽¹⁾ 巴基斯坦的木尔坦中央棉花研究所农学组

⁽²⁾ 巴基斯坦费萨尔巴德农业大学土壤与环境科学系

⁽³⁾ 瑞士楚格国际钾肥研究所驻巴基斯坦咨询员

* 通讯作者: mtariq131@gmail.com; abdulwakeel77@gmail.com

量构成的影响。结果显示, 补充钾素是生长在贫瘠的干旱土壤上的现代转基因棉花先决条件, 因为它保证了充分的植物生长发育, 增加籽棉产量到相当大的水平。然而, 仅仅基施基肥不会实现棉花产量潜力。年度钾肥施用量于生长中期分成2~4次追施可显著提高籽棉产量。虽然如此, 基施钾肥后, 在生长季节再叶面喷施2% K_2SO_4 4次获得的产量最高, 跟不施肥对照, 产量增加超过40%, 比分次施用钾肥处理产量增加了10%~15%。这些结果表明了保持与作物需求钾素营养动态相匹配的植物钾素状态的重要性, 尤其是现代转基因棉花品种上表现更为明显。

引言

棉花 (*Gossypium hirsutum* L.) 是世界上主要的纤维作物, 巴基斯坦在棉花生产国中排名第4 (Indexmundi, 2015), 2014年的棉花产量为1280万包, 占GDP的1.4% (Economic Survey of Pakistan, 2014)。在干旱的环境中, 作物营养一直是棉花高产的关键部分 (Ahmed et al., 2013; Karim et al., 2016)。虽然氮 (N)、磷 (P) 和钾 (K) 是所有作物大量需求的关键营养物质, 但是在巴基斯坦棉花上钾肥的施用却很低。然而, 想要获取高的籽棉产量及纤维品质, 钾素是必不可少的 (Bennett et al. 1965; Mullins et al., 1997; Zhao et al., 2001; Oosterhuis, 2002; Aneela et al., 2003; Sardar et al., 2003; Pervez et al., 2004; Pettigrew et al., 2005)。

棉花基因型的不同, 对钾肥施用的反应也明显不同 (Pettigrew, 2008)。对于钾素响应的基因型的差异可能是由于更具响应性基因型根系较大, 能更快或更有效的进行钾吸收 (Cassman et al., 1989a; Brouder and Cassman, 1990)。此外, 新的高产、早熟棉花品种对钾的需求显著增加 (Baily and Gwathmey, 2007;

Pettigrew, 2008; Abaye, 2009; Xia et al., 2013)。棉花已被公认为对缺钾非常敏感 (Rosolem et al., 2003)。甚至在不缺钾的土壤上也出现棉花缺钾症状 (Cassman et al., 1989b)。缺钾会导致棉铃重量降低 (Kerby et al., 1985), 从叶子转移的糖分减少 (Pettigrew, 1999), 籽棉产量变低, 纤维质量变差 (Mallarino et al., 1999; Pettigrew et al., 2005)。虽然钾素不是所有植物化合物的成分, 但是它在酶激活中扮演了不可或缺的角色 (Usherwood, 2000), 参与了许多代谢过程。

干旱的土壤环境下钾的有效性通常是不足以满足作物产量的潜力要求的。轻质土壤通常是棉花生产的理想之选。然而, 除了这些土壤中养分有效性低外, 有效钾往往是迅速的被淋溶到根区下面。因此, 结铃期钾的可用性可能降低, 而此时正是棉花需求钾素大幅增加的时期 (Halevy, 1976)。因此, 通过施肥来完成一个稳定的钾素供应从而保证足够的产量水平似乎至关重要。施肥制度和办法对棉花吸钾可能产生重大影响, 并因其稀疏的直根系统 (Cappy, 1979) 和相对较低的行间种植密度而受到挑战 (Oosterhuis, 2002)。钾肥管理上最常见的 (低成

表1. 试验地30cm深土壤性质

土壤性质	
土壤质地	粉砂壤质
pH	8.4
有机质 (%)	0.52
ECe (dS m ⁻¹)	1.71
NO ₃ -N(mg kg ⁻¹)	7.0
P(mg kg ⁻¹)	8.2
K(mg kg ⁻¹)	130

本) 操作为播前于浅层土壤上施用整个生长季节所用钾肥的全部施用量 (基施)。在固钾或养分易被快速淋失的土壤上, 这个养分施用量可以在生长季节分成几次施用, 钾肥可以沿着种植行追施到土壤表面。叶面喷施液体钾肥的方法是一个有用的纠正缺素的手段 (Halevy Markovitz, 1988), 当土壤供钾或植物吸收比较欠缺时, 植物生长和发育就会有风险 (Pettigrew et al., 2000)。尽管如此, 为在棉花上获得一个合适的钾肥施肥制度, 对土壤施钾结合叶面施钾的解决方法却只有极少数的研究。

近年来, 巴基斯坦的木尔坦中央棉花研究所 (CCRI) 的科学家们已经开发出一系列 *Bt* 转基因现代棉花品种, 旨在减少杀虫剂的使用。本研究的目标是确定 *Bt* 转基因现代棉中的 *Bt*-CIM-616品种在干旱的轻质土上

表2. 试验处理详细描述

组别	处理	施肥量	施肥制度和施肥方法
----kg ha ⁻¹ ----			
I	K ₀	0	
I	K ₁	100	一次性底肥基施
I	K _{1s}	100	分次施用, 50%的施用量在播种时施用, 剩下的在播种后45天施用
I	K ₂	200	一次性底肥基施
I	K _{2s}	200	分次施用, 25%的施用量在播种时施用, 剩下的分别在播种后30天、45天和60天施用
II	K ₀	0	
II	K _{0fw}	0	分别在播种后30、45、60、75天叶面喷施清水
II	K _{1fK}	100	基施另加在播种后30、45、60、75天叶面喷施2%K ₂ SO ₄
II	K _{2fK}	200	基施另加在播种后30、45、60、75天叶面喷施2%K ₂ SO ₄



照片2. 从左上图, 按顺时针方向: 在干的垄脊两侧穴播棉花种子; 出苗后沟灌; 机器犁沟管理; 成排的棉花幼苗。照片提供: 作者

所需的充足的钾肥施用量, 评估分次施用钾肥的影响, 并量化额外叶面喷施钾肥对籽棉产量及产量构成的影响。

材料与amp;方法

于2014年和2015年种植的季节在木尔坦CCRI (东经 $71^{\circ}28'$, 北纬 $30^{\circ}12'$, 海拔高度123 m) 进行了为期2年的大田试验。取30 cm深的土壤进行土壤性质测定 (表1)。试验包括两个小试验, 即2套施肥方案, 试验1包括 K_0 (对照), K_1 , K_{1s} , K_2 , K_{2s} 5个处理, 专注于基施钾肥或分次施用钾肥的试验。试验2包括 K_0 (对照1), K_{0fw} (对照2), K_{1fK} , K_{2fK} 4个处理, 专注于基施钾肥和额外叶面喷施钾肥的试验。表2提供了详细施肥处理方案。

两个试验均为完全随机区组设计, 重复4次。2年的试验中各处理保持不变, 各试验小区的施肥方案不变。土壤深耕后再耙平耕种。每年4月份的第三周, 把棉花种子 (*Bt.-CIM-616*品种) 人工植于干燥的沟床上。通过开沟漫灌的方式进行灌溉。所有试验小区的灌溉、除草、施用杀菌剂及杀虫剂等措施保持一致。

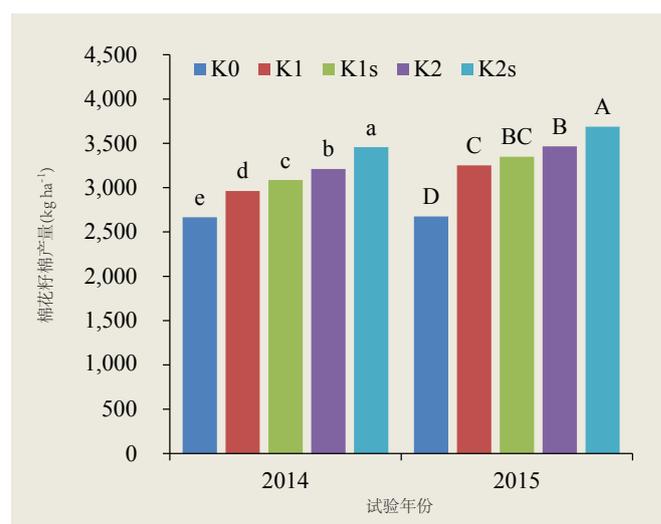


图1 钾肥施用量和施肥制度对2014年和2015年籽棉产量的影响。肥料 (氯化钾) 分为单独完全基施和平均分为基施和中期追肥两种方式。各个处理的详细描述见表2。数柱上字母相同表示在5%水平下LSD检验差异不显著。

成熟期记录作物结构和产量构成。各小区随机选择5株棉株记录下株高、节点数、总结果数、完整结果数、结铃数。随机选择两个棉株计算出铃重。对记录下的试验数据进行费舍尔方差分析 (ANOVA), 并在5%概率水平下使用 LSD 方法进行多重比较 (Steel et al., 1997)。

试验结果

试验1: 钾肥施用量和施肥制度对棉花的影响

钾肥施用对棉花植株的发育和结构产生显著影响。基施100 kg ha⁻¹钾肥的处理 (K₁) 相比对照处理 (K₀), 株高显著增加了17%~21% (表3)。基施的钾肥施用量加倍处理 (K₂) 对株高带来了更明显的影响, 比对照增加了35%。分次施用应季钾肥施用量, 100 kg ha⁻¹ (K_{1s}) 和200 kg ha⁻¹ (K_{2s}) 这两个钾肥施用量下的分次施用可显著增加株高, 分别比对照处理高30%和45%。株高的增加可能是由于主杆节点数量的增加 (10%~30%), 同时节间长度比对照处理高出20%以上 (表3)。

钾肥对籽棉产量的影响是显而易见的 (图1), 随着钾肥施用量的增加及钾肥施用制度的改变籽棉产量逐渐增加, 这可能是因为土壤中钾的状况相对得到一些改善。虽然相比对照处理, 基施100 kg ha⁻¹ (K₁) 钾肥可导致产

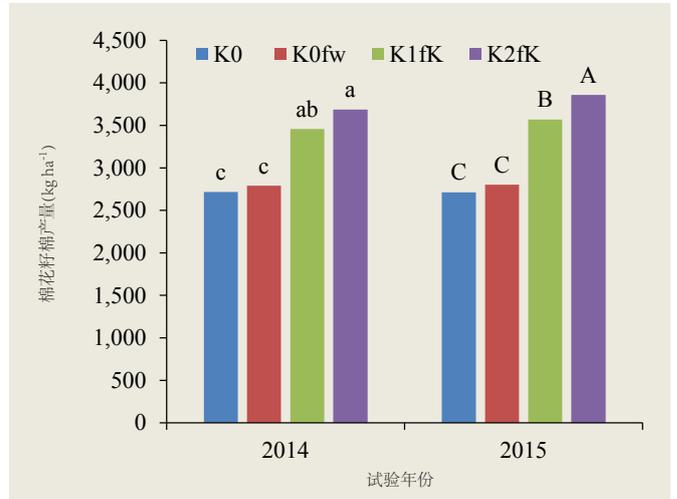


图2. 基肥施用钾肥配合追施硫酸钾 (2%) 对试验II成熟期籽棉产量的影响 (各处理的详细描述见表2)

量增加11%~22%, 但分次施用相同施用量的钾肥 (K_{1s}) 会使产量增加更明显, 可比对照处理增加16%~25%。然而, 当基施钾肥施用量翻一倍 (K₂), 棉花产量比对照处理提高了20%~30%, 如果把K₂处理的钾肥施用量分成4次施用 (K_{2s}), 棉花产量会比不施肥的对照处理提高30%~38%。

籽棉产量的增加可归因于每一个决定产量构成要素的改善 (表4)。相比不施肥的对照处理 (K₀), 每株棉株的结铃数量增加了16%~50%, 铃重增加了2%~10%, 结实点的总数提高了20%~30%。果实存活率明显提高, 这可从落果率由对照处理的70%滑落到K_{2s}处理的62%看出。总的来说, 完整的果实总数增加了37%~72%。所有

表3. 钾肥施用量和施肥制度对试验I棉花成熟期植株发育的影响 (处理详细描述见表2)

试验处理	主杆高度		主杆节点数		节间长度	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
	-----cm-----					
K ₀	88.3	90	31	30	2.85	2.99
K ₁	107	105	34	35	3.15	3.01
K _{1s}	115	118	34	37	3.38	3.20
K ₂	119	122	35	37	3.40	3.31
K _{2s}	128	131	38	39	3.46	3.38
LSD 5%	7.56	12.42	2.11	4.88	0.03	NS

表4. 钾肥施用量和施肥制度对试验I成熟期籽棉产量构成因素的影响 (各处理详细情况见表2)

钾肥施用量	单株结铃数		铃重		结实总点数		完整铃数		落铃数	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
	kg K ₂ O ha ⁻¹		-----g-----		-----m ⁻² -----		-----%-----			
K ₀	25	24	2.54	2.51	387	391	114	112	70.5	71.4
K ₁	29	32	2.59	2.61	463	479	156	159	66.3	66.8
K _{1s}	30	31	2.64	2.65	473	487	163	170	65.5	65.1
K ₂	32	34	2.69	2.68	485	498	172	179	64.5	64.0
K _{2s}	33	36	2.74	2.75	497	509	184	193	63.0	62.1
LSD 5%	2.80	3.11	0.10	0.12	8.7	23.3	11.4	14.7	3.49	3.46

的产量构成与钾肥的施用量及施肥制度有直接联系,对施用量及施肥制度的反应是渐进的。因此,基施相对低施用量的钾肥 (K_1) 处理获得的产量改进最小,而分4次施用高施用量的钾肥 (K_2s) 处理结果最好(表4)。

试验2: 叶面施钾对棉花发育及产量构成的叠加效应

基施钾肥再配以叶面喷施 K_2SO_4 (2%) 会大大增强植株生长和发育(表5),株高增加了20%~40%,主茎上的节点及节间长度分增加7%~28%和12%~15%。除了节点长度, K_2fK 处理对高施用量钾的生长反应是 K_1fK 处理的两倍。因此, K_1fK 处理和 K_2fK 处理的产量分别比喷水的对照处理 K_0fw 提高了24%~27%和32%~38%(图2)。

叶片施钾对棉花产量构成的影响(表6)与试验1中分次施钾对棉花产量构成的影响(表4)非常类似。相对于喷水的对照处理(K_0fw),每株棉株的结铃数量增加了19%~42%,铃重增加了9%~13%,结实点的总数提高了21%~38%。座果率明显提高,这可从落果率由对照处理的70%滑落到 K_2fK 处理的63%看出。总的来说,完整的果实总数增加了32%~52%。类似于试验1,所有的产量构成与钾肥的施用量有直接联系,且对施用量的反应是渐进的。

讨论

棉花作物的正常生长及纤维发展需要大量的钾,典型的高产作物品种大约需要 200 kg K ha^{-1} (Oosterhuis,

2002)。除了始花期后的几周,钾吸收处于高峰期,每天吸钾量为 $2.2\sim 5 \text{ kg ha}^{-1}$ 外,植物对钾的吸收遵循一个类似于干重积累的模式(Halevy *et al.*, 1987)。棉花比其他大多数大田作物对低钾更敏感,当土壤中供钾不足时通常显示出缺钾迹象(Cassman *et al.*, 1989 b)。当土壤供钾水平不足,棉花作物会从营养生长阶段加速(提前)进入生殖阶段(Gwathmey and Howard, 1998; Pettigrew, 1999),从而导致产量下降(Pettigrew, 2008)。在目前的研究中,与不施肥的对照处理相比,钾肥施用显著促进了棉花植株的生长和发育,提高了籽棉产量。2个钾肥基施施用量,即 $100 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ 和 $200 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$,植株性能及产量似乎与钾肥施用量呈线性关系(图1)。这些结果为巴基斯坦贫瘠的干旱土壤上棉花产量提高,钾肥施用扮演了关键的角色提供额外的证据(Ahmed *et al.*, 2013; Karim *et al.*, 2016)。

尽管基施钾肥棉花产量会显著增加,但是其有效性值得关注。考虑到轻质土上低的土壤阳离子交换量,在淹水条件下浸出率较高,以及棉花根系获取钾素的能力较弱(Cappy, 1979; Gerik *et al.*, 1987),或许会有人质疑相当比例的基施钾肥不会被植物吸收。

的确,每当基肥分次施用,可进一步促进植物的生长发育(表3)及产量(图1)。分2次平均施用 $100 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ 施用量的钾肥及分4次平均施用 $200 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ 施用量的钾肥,比相同施用量的钾肥在播种时全部一次性基施所生产的籽棉产量分别高3.6%和7%。棉铃期对钾的需求急剧上升,这是因为棉铃的发展对钾的需求较高(Abaya, 2009; Sekhon and Singh, 2013)。当植株开始坐果时提供钾素至关重要。现代的棉花品种,如Bt.-CIM-616,开花期的长度已经从5~7周减少到3~5周,因此当前的棉花品种能在较短的时间内产生出较大的

表5. 基肥施用钾肥配合追施硫酸钾(2%)对试验II到成熟期植物生长发育的影响(各处理的详细描述见表2)

试验处理	主杆高度		主杆节点数		节间长度	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
	-----cm-----				-----cm-----	
K_0	97	94	30	29	3.23	3.25
K_0fw	101	99	31	30	3.25	3.31
K_1fk	121	124	33	33	3.66	3.80
K_2fk	132	136	37	38	3.57	3.60
LSD 5%	4.99	4.62	4.69	4.75	0.31	0.54

表6. 基肥施用钾肥配合追施硫酸钾(2%)对试验II到成熟期产量构成因素的影响(各处理的详细描述见表2)

钾肥施用量	单株结铃数		铃重		结实总点数		完整铃数		落铃数	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
$\text{kg K}_2\text{O ha}^{-1}$			-----g-----		-----m ² -----				-----%-----	
K_0	26	25	2.58	2.51	391	396	121	120	69.1	69.6
K_0fw	26	26	2.60	2.54	401	403	127	124	68.3	69.2
K_1fk	31	35	2.84	2.81	487	496	168	174	65.5	64.9
K_2fk	33	37	2.91	2.87	503	517	187	189	62.8	63.4
LSD 5%	4.7	3.2	NS	0.072	10.2	23.9	5.7	16.4	NS	4.1

作物产量 (Abaye, 2009)。甚至高钾水平的表层土可能不适合一些新的高产棉花品种 (Cassman *et al.*, 1989a; Oosterhuis, 2002)。因此, 棉铃期对钾需求的增加可以通过追施钾肥以强化基施钾肥来实现。Silva (1984) 表明, 基施钾肥比不施钾肥对照可使籽棉产量提高10%, 如果基施钾肥的施用量分次施用, 可使籽棉产量进一步增加40%。事实上, 棉花生长中期追施钾肥早已成为美国南部产棉地带的一种常见的作法 (Oosterhuis, 2002)。尽管如此, 本研究试验1中产量的增加主要与基施的钾肥施用量有关, 而分次施用钾肥仅仅提供了一个边际贡献。在作物生长季节多次追施钾肥的成本与其带来的产量收益, 可能需要进一步的经济分析。

叶片钾肥施用能快速有效地纠正缺钾, 特别是在生长后期, 土壤中钾的贡献是无效的, 甚至是不产生贡献 (Oosterhuis, 2002)。叶片施加的营养会促进根对相同营养的吸收 (Keino *et al.*, 1999)。在当前的研究中, 叶片喷施 K_2SO_4 (2%) 的处理比仅基施钾肥的对照处理棉花产量增加了24%~38% (图2)。这种增长比得上分次施用钾肥获得的生长 (图1)。土壤施用钾肥的主要影响体现在植物发育上, 以及随后的完整棉铃的增加上, 对铃重只有很小的影响 (表3和表4), 然而, 叶面施肥下, 棉铃的尺寸显著增加, 而对植物结构及其他产量构成的影响较小 (表5和表6)。坐果率作为产量因子以及棉花植株健康的一个重要指标, 土壤施钾和叶面施钾对其增加效果基本一致 (表4和表6)。这些结果与先前所研究结果一致, 即土壤钾的稳定有效性可提高植株发育及生产能力 (Mullins *et al.*, 1997; Pettigrew *et al.*, 2005)。最近在棉花上的研究 (Brar *et al.*, 2008; Sawan *et al.*, 2008; Kaur *et al.*, 2011; Dewdar and Rady 2013; Sekhon and Singh 2013) 也支持这一观点, 这些研究结果还表明, 无论何时何地叶片施钾都能直接纠正暂时的缺钾, 土壤施钾配合叶面施钾可获得最大效益。

对于技术限制, 两个试验在临近的地块分别进行, 因此也进行了单独分析。然而, 两年的试验结果非常相似。合并两个试验提供了一个更好的结果, 特别是对于两个处理之间可能存在的差异, 如土壤分次施肥与基施及叶面施肥之间 (图3)。第二种方法的优势相当明显, 叶面喷施2%的 K_2SO_4 相对于不施肥处理可使籽棉产量增加30%~40%, 而分次土壤施用 100 kg ha^{-1} 和 200 kg ha^{-1} 施用量的钾肥对于不施肥处理, 仅使籽棉产量分别了20%~33%。因此, 除了比土壤分次施钾的成本明显便宜外, 基施钾肥配合叶面施钾还可使产量增加10%~15%。

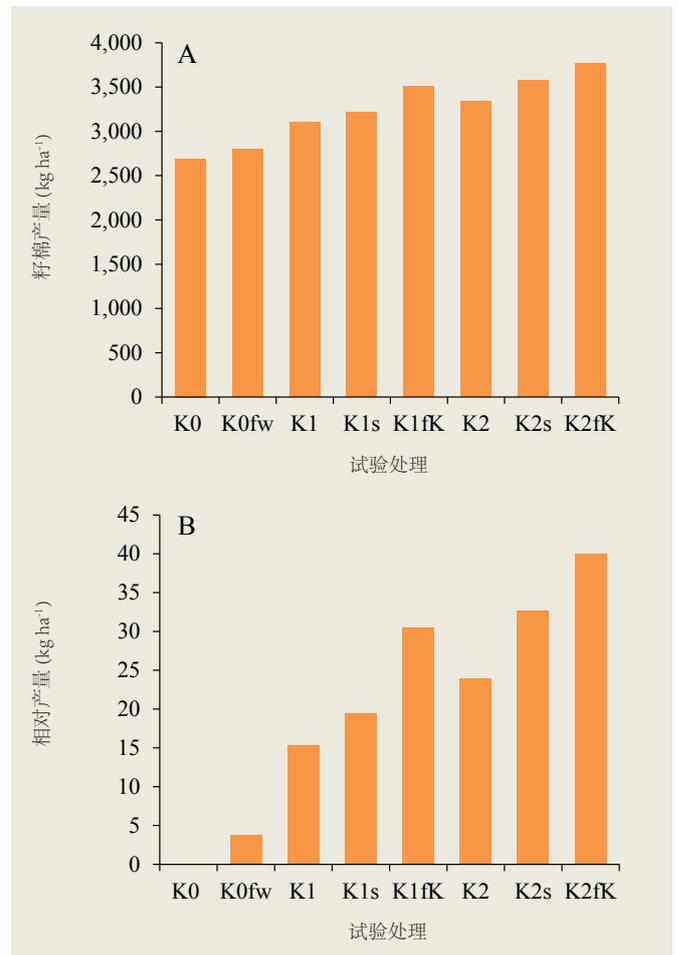


图3. 两组试验籽棉绝对产量和相对产量的对比分析。数柱表示2014-2015的平均产量。各处理的详细描述见表2。

总之, 在贫瘠的干旱土壤上补充钾素是棉花生长的先决条件, 因为它确保了植株的生长和发育, 以及随后籽棉产量增加所需的相当大的钾素水平。但是, 仅仅基施钾肥不能实现棉花的产量潜力, 这是因为在棉铃生成及生长的关键时期, 棉株对钾素的需求增加, 而此时土壤中的有效钾却逐渐减少。在棉花的生长中期追施钾肥2~4次能显著提高籽棉产量。然而, 基施钾肥后, 在棉花的生长季节再叶面喷施4次2% K_2SO_4 所得到的籽棉产量最高。这些结果说明, 植物钾素的状态与植物对这种营养素动态需求匹配的相关性, 尤其是现代转基因棉花品种上体现的更明显。进一步提高棉花养分利用效率需要考虑生长季叶柄钾状态的监测技术 (Roberts *et al.*, 1993; Oosterhuis, 2002), 以及更精确运送水分及养分到植物根系, 如灌溉施肥。

致谢

论文是国际钾肥研究所 (IPI) 资助的题为“巴基斯坦旁遮普邦南部干旱环境条件下棉花施钾效应”的项目的一部分。

参考文献

- Abaye, A.O. 2009. Potassium Fertilization of Cotton. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech, Publication 418-025.
- Ahmad, R., R.G.M. Hur, E.A. Waraich, M.Y. Ashraf, and M. Hussain. 2013. Effect of Supplemental Foliar-Applied Potassium on Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Yield and Lint Quality under Drought Stress. Pak. J. Life Soc. Sci. 11:154-164.
- Aneela, S., A. Muhammad, and M.E. Akhtar. 2003. Effect of Potash on Boll Characteristics and Seed Cotton Yield in Newly Developed Highly Resistant Cotton Varieties. Pak. J. Biol. Sci. 6:813-816.
- Bailey, J.C., and C.O. Gwathmey. 2007. Potassium Effects on Partitioning, Yield, and Earliness of Contrasting Cotton Cultivars. Agron. J. 99:1130-1136.
- Brar, M.S., M.S. Gill, K.S. Sekhon, B.S. Sidhu, P. Sharma, and A. Singh. 2008. Effect of Soil and Foliar Application of Nutrients on Yield and Nutrient Concentration in Bt cotton. J. Res. 45:126-131.
- Brouder, S.M., and K.G. Cassman. 1990. Root Development of Two Cotton Cultivars in Relation to Potassium Uptake and Plant Growth in Vermiculitic Soil. Field Crops Research 23:187-203.
- Cappy, J.J. 1979. The Rooting Patterns of Soybean and Cotton throughout the Growing Season. Ph.D. Dissertation, University of Arkansas, Fayetteville.
- Cassman, K.G., T.A. Kerby, B.A. Roberts, D.C. Bryant, and S.M. Brouder. 1989a. Differential Response of two Cotton Cultivars to Fertilizer and Soil Potassium. Agron. J. 81: 870-876.
- Cassman, K.G., D.C. Bryant, S.L. Higashi, B.A. Roberts, and T.A. Kerby. 1989b. Soil Potassium Balance and Cumulative Cotton Response to Annual Potassium Additions on a Vermiculitic Soil. Soil Sci. Soc. Amer. J. 53:805-812.
- Dewdar, M.D.H., and M.M. Rady. 2013. Influence of Soil and Foliar Applications of Potassium Fertilization on Growth, Yield and Fiber Quality Traits in two *Gossypium barbadense* L. Varieties. Afri. J. Agri. Res. 8:2211-2215.
- Economic Survey of Pakistan. 2014. 26-27. Ministry of Finance, Govt. of Pakistan. Available online. http://www.finance.gov.pk/survey_1213.html.
- Gerik, T.J., J.E. Morrison, and F.W. Chichester. 1987. Effects of Controlled Traffic on Soil Physical Properties and Crop Rooting. Agronomy Journal 79:434-438.
- Gwathmey, C.O., and D.D. Howard. 1998. Potassium Effects on Canopy Light Interception and Earliness of No-Tillage Cotton. Agronomy Journal, 90:144-149.
- Halevy, J. 1976. Growth Rate and Nutrient Uptake of Two Cotton Cultivars Grown under Irrigation. Agronomy J. 68:701-705.
- Halevy, J., A. Marani, and T. Markovitz. 1987. Growth and NPK Uptake of High-Yielding Cotton Grown at Different Nitrogen Levels in a Permanent Plot Experiment. Plant and Soil 103:39-44.
- Halevy, J., and T. Markovitz. 1988. Foliar NPKS Application to Cotton from Full Flowering to Boll Filling. Fertiliser Research 15:247-252.
- Indexmundi. 2015. <http://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=cotton&graph=production>.
- Karim, F., J. Iqbal, M. Shabbir, S. Kaleem, and M.Q. Waqar. 2016. Response of Cotton to Foliar and Soil Applied Nutrients under Dera Ghazi Khan Conditions. Journal of Environmental and Agricultural Sciences 7:14-18.
- Kaur, P., G.S. Buttar, M. Kaur, and R.S. Sohu. 2011. Effect of Foliar and Split Application of Potassium on Seed Cotton Yield and Fibre Quality of American Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Ind. J. Agric. Sci. 81:838-842.
- Keino, J., C.A. Beyrouy, and D.M. Oosterhuis. 1999. Differential Uptake of Potassium by Plant Roots. In: Oosterhuis, D.M., and G. Berkowitz (eds.). Frontiers in Potassium Nutrition: New Perspectives on the Effects of Potassium on Crop Plant Physiology. Published Potash and Phosphate Institute and American Society of Agronomy.
- Kerby, T.A., F. Adamsand, and R.D. Munson. 1985. Potassium Nutrition of Cotton. Potassium in Agriculture. Am. Soc. Agron, Madison. p. 843-860.
- Mallarino, A.P., J.P. Bordeli, and R. Borges. 1999. Phosphorus and Potassium Placement on Early Growth and Nutrient Uptake on No-Till Corn and Relationship with Grain Yield. Agron. J. 91:37-45.
- Mullins, G.L., C.H. Burmester, and D.W. Reeves. 1997. Cotton Response to In-Row Sub Soiling and Potassium Fertilizer Placement in Alabama. Soil Tillage Res. 40:145-154.
- Oosterhuis, D.M. 2002. Potassium Management of Cotton. Potassium for Sustainable Crop Production, 331-346.
- Pervez, H., M. Ashraf, and M.I. Makhdom. 2004. Influence of Potassium Rates and Sources on Seed Cotton Yield and Yield Components of Some Elite Cotton Cultivars. J. Plant Nutr. 27:1295-1317.
- Pettigrew, W.T. 2008. Review: Potassium Influences on Yield and Quality Production for Maize, Wheat, Soybean and Cotton. Physiologia Plantarum 133:670-681.

- Pettigrew, W.T. 1999. Potassium Deficiency Increases Specific Leaf Weights of Leaf Glucose Levels in Field Grown Cotton. *Agron. J.* 91:962-968.
- Pettigrew, W.T., J.C. McCarty, and K.C. Vaughn. 2000. Leaf Senescence-Like Characteristics Contribute to Cottons Premature Photosynthetic Decline. *Photosynthesis Res.* 65:187-195.
- Pettigrew, W.T., W.R. Meredith, and L.D. Young. 2005. Potassium Fertilization Effects on Cotton Lint Yield, Yield Components and Reniform Nematode Population. *Agron. J.* 97:1245-1251.
- Roberts, B.A., T.A. Kerby, and B.L. Weir. 1993. Foliar Fertilization of Cotton in California. p. 64-76. *In*: Murphey, L.S. (ed.) Foliar Fertilization of Soybeans and Cotton. Special publication 1993-1. Potash & Phosphate Institute and Foundation for Agronomic Research, Norcross, GA.
- Rosolem, C.A., R.H.D. Silva, and J.A.F. Esteves. 2003. Potassium Supply to Cotton Roots as Affected by Potassium Fertilization and Liming. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38:635-641.
- Sardar, A., M. Ashraf, and M.E. Akhtar. 2003. Effect of Potash on Boll Characteristics and Seed Cotton Yield in Newly Developed Highly Resistant Cotton Varieties. *Pak. J. Biol. Sci.* 6:813-815.
- Sawan, Z.K., M.H. Mahmoud, and A.H. El-Guibali. 2008. Influence of Potassium Fertilization and Foliar Application of Zinc and Phosphorus on Growth, Yield Components, and Yield and Fiber Properties of Egyptian Cotton (*Gossypium baradense* L.). *J. Plant Ecol.* 1:259-270.
- Sekhon, N.K., and C.B. Singh. 2013. Plant Nutrient Status During Boll Development and Seed Cotton Yield as Affected by Foliar Application of Different Sources of Potassium. *American J. Plant Sci.* 4:1409-1417.
- da Silva, N.M., L.H. Carvalho, E. Cia, E.J. Chiavegato, and J.C. Sabino. 1984. Effect of Split Application of Potassium Chloride in Cotton. *Bragantia* [online]. 43, p. 111-124.
- Steel, R.G.D., J.H. Torrie, and D.A. Dickey. 1997. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd ed. McGraw Hill, Inc. Book Co. New York (USA). p. 352-358.
- Usherwood, N.R. 2000. The Influence of Potassium on Cotton Quality. *Agri-Briefs, Agronomic News* No.8 . Spring 2000. Potash and Phosphate Institute, Norcross, GA, USA.
- Xia, Y., C.C. Jiang, X. Wang, and F. Chen. 2013. Studies on Potassium Uptake and Use Efficiency of Different Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Genotypes by Grafting. *J. Food Agric. Environ.* 11:472-476.
- Zhao, D., D.M. Oosterhuis, and C.W. Bednarz. 2001. Influence of Potassium Deficiency on Photosynthesis, Chlorophyll Content, and Chloroplast Ultrastructure of Cotton Plants. *Photosynthetica* 39:103-109.

“钾肥施肥量、施肥制度、施肥方法对干旱环境下棉花发育及籽棉产量的影响”一文可以在国际钾肥研究所 (IPI) 官方网站浏览和下载: [区域活动/WANA](#)