

水钾耦合对北疆机采棉水钾利用效率及产量的影响

潘俊杰¹, 付秋萍^{1*}, 赵桥¹, 郑一村¹, 阿布都卡依木·阿布力米提^{1,2}, 马英杰¹

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052;

2. 北京联创思源测控技术有限公司, 北京 100085)

摘要:【目的】探索不同土壤含水率区间与钾肥施用量之间的耦合效应, 优化机采棉灌水和钾肥施用方案。【方法】以膜下滴灌棉花为研究对象, 设计了3个土壤含水率(田间持水率的40%~60%、60%~80%和80%~100%, W_1 、 W_2 、 W_3)和3个施钾水平(30、60和90 kg/hm², K_1 、 K_2 、 K_3), 研究了机采棉的株高、叶面积指数、生物量和产量。【结果】土壤含水率为田间持水率的60%~80%时, 钾肥对棉花株高的增益效果更加明显; 施钾量在30 kg/hm²和60 kg/hm²时, 土壤含水率能显著提高株高的日增长量。叶面积指数随着施钾量和灌水量的增加而增加。土壤含水率为田间持水率的60%~80%且施钾量为90 kg/hm²时, 最有利于棉花生物量的形成。土壤含水率为田间持水率的60%~80%时, 棉花单株有效铃数和籽棉产量最多, 且籽棉产量和有效铃数随着施钾量的增加而增加, W_2K_3 处理的籽棉产量最高(7 579.78 kg/hm²), 有效铃数最高(9.03个/株)。钾肥能促进棉花单铃质量的形成, 但是单株有效铃数的增加会减缓钾肥对棉花单铃质量的促进作用。当灌水水平一致时, 钾肥生产效率随着施钾量的增加而显著降低。在土壤含水率为田间持水率的80%~100%且施钾量为90 kg/hm²时, 棉花的水分利用效率最低。【结论】土壤含水率为田间持水率的60%~80%且施钾量为90 kg/hm²为适宜的灌水施肥方案, 有利于生物量向生殖生长倾斜, 获得较高的水钾利用效率以及棉花籽棉产量。

关键词:机采棉; 水钾耦合; 膜下滴灌; 产量; 水分利用效率

中图分类号:S318

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.20170057

潘俊杰, 付秋萍, 赵桥, 等. 水钾耦合对北疆机采棉水钾利用效率及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(1): 42-48.

0 引言

新疆以其充足的光热资源优势, 促成了棉花单产和总产位居全国首位^[1]。但新疆是典型的内陆干旱区气候, 导致了“没有灌溉就没有农业”的局面。膜下滴灌技术已在棉花的种植中得到了广泛应用, 水肥一体化是未来的发展方向。研究表明, 水肥对棉花的产量形成存在交互作用^[2-3], 合理的灌溉施肥组合才能使棉花获得高产。棉花属于喜钾作物, 相比其他作物对土壤含钾量更加敏感^[4]。而新疆棉区农户在新疆“缺氮、少磷、富钾”观念的影响下, 不重视对钾肥的使用, 导致钾肥成为新疆棉区产量的限制因素^[5-6], 因此有必要对新疆棉区水钾耦合展开研究。

棉花通过根系同时吸收水分和钾肥, 而水和钾肥的吸收以及其对棉花生长的影响存在交互作用。张志勇等^[7]研究表明缺钾4 d棉花幼苗的总根长和根系总表面只有适钾处理的35.7%~38.0%; 吴秀文等^[8]研究表明, 缺钾时棉花叶片数、株高和SPAD都偏低, 造成缺钾棉花干物质、总根质量和根冠比相比常规处理降低了69.3%、70.4%和33.3%; 刘爱忠等^[9]发现缺钾棉花的果枝始节和单株成铃数会相对常规棉花降低; 增施钾肥可以显著提高棉花产量、改善纤维品质。棉花在水分亏缺和钾亏缺条件下, 光合作用受限, 蕾铃脱落严重^[10-11]。汪霄等^[14]研究表明, 相比25%的土壤体积含水率下限, 35%的土壤体积含水率下限的棉花长势较好,

收稿日期:2017-12-20

基金项目:自治区科技支疆项目(2016E02105);干旱区枣树节水调质技术及智能决策系统研发创新团队(XJEDU2017T004);新疆水利水电工程重点学科基金项目(XJZDXK-2002-10-05);2017年自治区级大学生创新项目(201710758066);新疆农业大学博士后经费项目

作者简介:潘俊杰(1993-),男,硕士研究生,主要从事灌溉节水理论研究。E-mail: panjunjie910@163.com

通信作者:付秋萍(1980-),女,新疆奇台人。讲师,硕士生导师,博士,主要从事节水灌溉及水肥高效利用方面的研究工作。

E-mail: caufuqiuping@126.com

干旱抑制了棉花根系对K⁺的吸收。因此,通过探究不同土壤含水率下棉花钾肥利用效率,优化灌水和施钾方案,有利于改善钾肥对棉区产量的限制作用。

兹以膜下滴灌机采棉为研究对象,研究不同的土壤含水率区间和施钾水平对棉花的生长、生物量积累和产量等指标的影响,优化棉花的灌溉施肥制度,为精准农业提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2016年在昌吉州呼图壁县大丰镇现代化灌溉示范地进行。试验地位于天山中段北麓(东经86.63°,北纬44.18°),属于中温带大陆半荒漠干旱性气候,平均年降雨量167 mm,年平均气温5~6℃,年均日照时间2 750~3 090 h。试验地土壤类型为沙壤土,土壤体积质量为1.53 g/cm³,田间持水率为35.40%(体积含水率,FC),地下水埋深15 m。土壤有机质量9.56 g/kg,全氮量3.1 g/kg,碱解氮量35.42 mg/kg,速效磷量14.54 mg/kg,速效钾量126.99 mg/kg。供试棉花品种为新陆棉早57号,2016年4月20日播种,10月10日收获。试验采用1膜6行的机采棉种植模式,作物行距(10+66+10+66+10)cm,株距10 cm。滴灌带铺设模式为1膜3带,分别布置在距第1行棉花垂直距离20、96和142 cm的位置。滴灌带管径16 mm,滴头流量1.8 L/h,滴头间距0.3 m。

1.2 试验设计

本试验采用二因素(灌溉因素、施钾因素)、三水平(低、中、高),共9个处理,每个处理3个重复,共27个小区,完全随机分组试验。其中低水:限定土壤含水率为田间持水率的40%~60%;中水:限定土壤含水率为田间持水率的60%~80%;高水:限定土壤含水率为田间持水率的80%~100%。低、中、高3个钾肥(K₂O)追肥量分别为30、60和90 kg/hm²,试验使用钾肥为硫酸钾(有效量为54%)。灌水和施肥试验方案见表1。设定长20 m、宽取相邻3个地膜为1个小区;以小区二两边膜为隔离带并测取中间行棉花数据。

土壤含水率通过墒情传感器实时监控得到^[15],当土壤含水率达到对应下限值时进行灌溉,灌水定额计算式为:

$$M=10\,000hp(\theta_{\text{田}}-\theta_{\text{下限}}), \tag{1}$$

式中:M为灌水定额(m³/hm²);p为湿润比,为0.74;h为计划湿润层深度,取0.6 m^[16];θ为土壤体积含水率(%)。

表1 试验方案

灌水处理	施肥处理	灌水量/(m ³ ·hm ⁻²)	钾肥用量/(kg·hm ⁻²)	土壤含水率
W ₁	K ₁	3 339	30	40% FC~60% FC
	K ₂	3 339	60	40% FC~60% FC
	K ₃	3 339	90	40% FC~60% FC
W ₂	K ₁	4 410	30	60% FC~80% FC
	K ₂	4 410	60	60% FC~80% FC
	K ₃	4 410	90	60% FC~80% FC
W ₃	K ₁	6 300	30	80% FC~100% FC
	K ₂	6 300	60	80% FC~100% FC
	K ₃	6 300	90	80% FC~100% FC

1.3 测定项目及数据分析方法

1)株高。试验初期选择各处理平均水平的代表性植株10株,用标签牌做标记,测定棉株株高,每隔10 d观测1次,一直到花铃期棉花株高不再生长为止。株高为地面到棉花主茎顶部生长点的高度,用卷尺进行测量。

2)生物量。在各试验小区选取具有代表性植株3棵,每10 d测定1次,分叶、茎、蕾(花、铃),105℃杀青0.5 h,65℃烘干至恒质量。

3)叶面积指数。单株叶面积与生物量测定时间一致,采用打孔法进行测定^[18]。叶面积指数=单株叶面积×单位土地面积株数/单位土地面积。

4)产量和单株成铃数。采用样田法,在吐絮期选取长3 m×宽2.4 m小区进行测产并重复3次,取其均值,折算成产量,以代表该处理总产量。同时统计各小区株数和单株结铃数。

5)土壤含水率。在每个试验小区中间安装1套无线土壤水分传感器,监测试验小区土壤水分实时变化情况。每台传感器带有3个探头,探头的监测半径为8 cm。传感器布设在小区中间膜中心2行棉花未布设

滴灌带的一侧,距离棉花行 10 cm 处,垂直深度分别为 10、20 和 40 cm。

6)棉花钾肥生产效率。肥料偏生产力(kg/kg)计算式^[19]为:

$$PEP=Y/FT, \quad (2)$$

式中:Y为籽棉产量(kg/hm²);FT为投入的钾肥总量(kg/hm²)。

7)水分利用效率。棉花的耗水量计算式为:

$$ET_c=P+I-R-D_p-\Delta W, \quad (3)$$

式中:ET_c为耗水量(mm);P为降雨量(mm);I为灌水量(mm);R为地表径流(mm);D_p为深层渗漏(mm);ΔW为全生育期土壤储水量的变化值(mm)。因试验地地下水位较深,且地势平坦降雨量少,故R和D_p忽略不计。

水分利用效率(kg/m³)计算式为:

$$WUE=Y/ET_c. \quad (4)$$

2 结果与分析

2.1 不同水钾水平对株高的影响

不同水钾水平下棉花株高的动态变化见表2。由表2可知,不同处理之间的株高有显著性差异。5月1日,W₃K₃处理的株高显著高于其他处理,其他处理之间的差异较小,说明灌水施肥之前,各处理株高具有较好的一致性。7月5日,灌水和追肥促进了株高的增长,各处理株高平均日增量达到了0.72 cm/d。在低灌水水平下,W₁K₃处理的株高显著高于W₁K₁处理,高出了3.89 cm;在中灌水水平下,W₂K₁处理的株高显著低于W₂K₂处理和W₂K₃处理,分别低出了3.45 cm和2.78 cm;在高灌水水平下,各施钾处理间株高的差异性不显著;说明株高随着施钾量的增加而增加,且在土壤含水率区间在田间持水率的60%~80%时,钾肥对棉花株高的增益效果更加明显。在低钾水平下,W₁K₃处理的株高显著高于W₁K₁处理,高出了4.78 cm;在中钾水平下,W₁K₂处理的株高显著低于W₂K₂处理和W₃K₂处理,分别低出了3.45 cm和2.78 cm;在高钾水平下,不同灌水水平之间差异不显著。说明施钾量为30 kg/hm²和60 kg/hm²时,增加土壤含水率能提高株高的日增长量。7月5日,株高的基本稳定,各处理株高平均日增量为0.32 cm/d。相同灌水水平下,不同的施钾量处理之间的差异性与7月5日一致。在低钾和中钾水平下,土壤含水率的提高对株高的日增长量起促进作用;在高钾水平下,各处理间差异不明显。说明7月5日之后,灌水对株高的增长仍能起到一定作用,棉花株高趋于稳定。

表2 不同水钾水平下棉花株高

cm

灌水处理	施肥处理	6月16日	7月1日	7月8日	7月22日	8月3日
W ₁	K ₁	46.89bc	52.89c	63.22d	69.89e	71.33e
	K ₂	46.89bc	55.89b	64.11cd	71.11de	71.89de
	K ₃	48.11b	58.44ab	67.11abc	74.33bc	77.56ab
W ₂	K ₁	49.22b	58.78ab	66.33bcd	73.44cd	74.44cd
	K ₂	45.00c	56.89b	69.11ab	75.56bc	76.33bc
	K ₃	49.33b	60.00a	69.78a	75.78bc	78.22ab
W ₃	K ₁	47.56bc	58.22ab	68.00ab	77.00b	77.67ab
	K ₂	47.11bc	56.11b	70.22a	76.89b	78.22ab
	K ₃	52.00a	60.56a	70.00a	80.00a	79.44a

注 同一列不同字母表示差异显著(P<0.05),下同。

2.2 不同水钾水平对叶面积指数的影响

各处理棉花叶面积指数见表3。由表3可知,灌水开始之前各处理叶面积指数无显著性差异。6月6日—8月31日,各处理的叶面积指数间最大差值由0.03逐渐变大为3.64。在8月31日,在低水和中水水平下,相比K₁处理,K₂处理和K₃处理棉花的叶面积指数分别显著增加了17%~28%和34%~43%;在高水水平下,W₃K₂处理和W₃K₃处理棉花的叶面积指数显著高于W₃K₁处理,且分别增加了31%和34%。说明当土壤含水率维持在田间持水率的40%~80%时,施钾加快了叶面积指数增长速率。相同施钾水平下,相比W₂处理和W₃处理,W₁处理棉花叶面积指数显著降低了10%~28%。在中施钾水平下,棉花的叶面积指数随着灌水量的增加显著增加。其中W₃K₃处理的叶面积指数最大,说明土壤含水率的上升和施钾量的增加都能促进叶面积指数的增加。

表3 不同水钾水平下棉花叶面积指数

灌水处理	施肥处理	6月16日	7月3日	7月13日	8月16日	8月31日
W ₁	K ₁	0.19a	1.07b	1.21b	3.22d	3.66e
	K ₂	0.20a	1.48ab	1.62ab	4.59bcd	5.05d
	K ₃	0.21a	1.58ab	2.08ab	5.7ab	6.44b
W ₂	K ₁	0.18a	1.45ab	1.60ab	3.42d	4.70d
	K ₂	0.21a	1.54ab	1.93ab	5.19abc	5.63c
	K ₃	0.20a	1.83a	2.33a	6.16a	7.12a
W ₃	K ₁	0.20a	1.53ab	1.81ab	4.00cd	4.83d
	K ₂	0.21a	1.78a	2.24a	5.78ab	7.04a
	K ₃	0.21a	1.82a	2.33a	6.13ab	7.30a

2.3 不同水钾水平对生物量的影响

花蕾期生物量积累情况见表4。由表4可知,在花蕾期各处理生物量无显著差异,且各个处理棉花的蕾、茎和叶的分配比例大致相近。这与各处理棉花前2次的灌水定额一样有关,而前2次灌水定额的灌溉时间在花蕾期。在盛花期棉花叶片、茎和蕾分别占总生物量的34%~39%、49%~59%和5%~15%。其中W₂K₃处理的叶片、茎和蕾生物量最高。在中水水平下,W₂K₃处理的蕾生物量为12.35 g/株,显著高于W₂K₁处理;且在低水和中水水平下,随着施钾量的增加棉花的叶片、茎和蕾生物量而增加。盛花期,钾肥能够促进棉花生物量的积累并促进同化物向生殖生长转移;而在土壤含水率维持在较低范围时,水分胁迫抑制了棉花对钾肥的吸收利用。

表4 不同水钾水平下棉花花蕾期叶、茎、蕾生物量累积量

g/株

时期	灌水水平	施肥水平	叶	茎	蕾	时期	灌水水平	施肥水平	叶	茎	蕾
花蕾期	W ₁	K ₁	3.49a	5.44a	0.31a	盛花期	W ₁	K ₁	16.17ab	22.94ab	2.91b
		K ₂	4.49a	5.07a	0.25a			K ₂	22.54b	32.50b	4.53b
		K ₃	3.38a	5.25a	0.34a			K ₃	32.00ab	44.70a	9.21ab
	W ₂	K ₁	3.81a	5.76a	0.38a		W ₂	K ₁	23.89ab	32.85ab	4.29b
		K ₂	4.50a	6.30a	0.48a			K ₂	26.52ab	39.05ab	7.38ab
		K ₃	4.09a	5.37a	0.44a			K ₃	33.99a	45.18a	12.35a
	W ₃	K ₁	4.16a	5.89a	0.40a		W ₃	K ₁	22.85ab	34.80ab	8.38ab
		K ₂	3.69a	5.44a	0.42a			K ₂	31.19ab	50.96a	4.61b
		K ₃	4.55a	5.80a	0.45a			K ₃	31.88ab	46.23a	5.11b

花铃期生物量积累情况见表5。由表5可知,W₂K₂生物量(叶、茎、蕾生物量之和)最高,棉花叶、茎、蕾、棉纤维和棉壳分别占生物量的25%~29%、32%~38%、2%~3%、15%~20%和15%~19%,各处理间蕾所占比例波动不大。不同处理间棉花叶、茎、蕾、棉和棉壳生物量的差值分别为3.83、5.83、0.78、4.81和4.10 g/株,且各处理间棉花叶、茎、蕾和棉壳生物量差异不显著。而在不同的灌水水平下,棉花的棉纤维和棉壳所占生物量比例以及生物量随着施肥量的增加而增加。花铃期,钾肥能够促进棉花生物量的积累和同化物向生殖生长倾斜。

表5 不同水钾水平下棉花花铃期叶、茎、蕾生物量累积量

g/株

灌水水平	施肥水平	叶	茎	蕾	棉	棉壳
W ₁	K ₁	15.71a	18.86a	1.25a	9.75ab	9.13a
	K ₂	16.85a	19.62a	1.20a	11.53ab	11.28a
	K ₃	18.50a	22.35a	1.33a	12.84ab	11.64a
W ₂	K ₁	16.92a	22.21a	1.31a	8.98b	8.60a
	K ₂	17.80a	24.40a	1.69a	12.60ab	11.20a
	K ₃	15.07a	18.26a	1.18a	11.13ab	10.36a
W ₃	K ₁	15.34a	21.52a	1.05a	10.89ab	11.39a
	K ₂	16.15a	22.02a	1.41a	12.40ab	11.78a
	K ₃	17.98a	22.80a	1.16a	13.70a	11.90a

吐絮初期生物量积累情况见表6。由表6可知,W₃K₃处理的生物量最高,棉花叶、茎、蕾、棉纤维和棉壳分别占生物量的18%~24%、23%~33%、0%~2%、28%~35%和16%~21%。在同一灌水水平和施钾水平下,棉花茎和棉壳的生物量差异性不显著。在吐絮初期,在低水水平下和低钾水下,棉花的棉、棉壳的生物量都明显偏高,由于水分亏缺和钾亏缺导致了棉花生育期提前。低水灌水水平下,W₁K₃处理的棉花生物量含量较高。在中水灌水水平下,不同施肥处理的生物量差异不大,W₂K₃处理蕾、棉纤维和棉壳占生物量比例

高于其他处理。在高水灌水水平下,W₃K₃处理的棉花生物量最高,棉和棉壳所占比例最高。吐絮初期,生物量随着钾肥使用量的增加而增加,说明钾肥优化了生殖生长和营养生长的平衡。

表 6 不同水钾水平下棉花吐絮初期叶、茎、蕾生物量累积量 g/株

灌水水平	施肥水平	叶	茎	棉	棉壳	蕾
W ₁	K ₁	15.85bc	21.21a	23.83ab	15.57a	0.78
	K ₂	20.49ab	29.67a	27.53a	15.82a	—
	K ₃	18.77ab	25.14a	27.52ab	16.50a	0.79
W ₂	K ₁	13.95c	22.77a	20.19ab	15.79a	—
	K ₂	14.01c	24.40a	20.81ab	14.79a	0.22
	K ₃	16.70abc	16.23a	24.01b	11.56a	1.16
W ₃	K ₁	15.79bc	22.52a	22.61ab	17.34a	—
	K ₂	14.95bc	23.82a	22.40ab	15.58a	—
	K ₃	17.87abc	25.37a	22.97ab	17.37a	—

2.4 不同水钾水平对棉花产量的影响

不同处理的棉花籽棉产量见表 7。由表 7 可知,在低水和中水水平下,K₃处理籽棉产量显著高于 K₁处理和 K₂处理,高出 551.19~904.51 kg/hm²;在高水水平下,W₃K₃处理的籽棉产量显著低于 W₃K₁处理和 W₃K₂处理,说明土壤含水率区间在田间持水率的 40%~80%时,施钾量在 30~60 kg/hm²内,施钾量的增加对棉花籽棉产量提高有促进作用。在施钾水平一致时,W₂处理籽棉产量最高,且 W₁处理籽棉产量显著低于 W₂处理和 W₃处理,其中 W₂K₃处理的籽棉产量最高为 7 579.78 kg/hm²。

表 7 不同处理棉花产量构成

灌水处理	施肥处理	籽棉/(kg·hm ²)	有效铃数/(个·株 ⁻¹)	单铃质量/(g·个 ⁻¹)	钾肥生产效率/(kg·kg ⁻¹)	水分利用效率/(kg·m ⁻³)
W ₁	K ₁	6 133.21e	7.14d	7.53bc	204.44a	1.42b
	K ₂	6 274.06de	7.12d	7.73b	104.56b	1.41b
	K ₃	6 825.25bc	7.08d	7.94a	75.83c	1.59a
W ₂	K ₁	6 675.27bc	7.40d	6.74e	222.50a	1.16c
	K ₂	6 937.20b	8.61bc	7.73b	115.62b	1.19c
	K ₃	7 579.78a	9.03a	7.01d	84.21c	1.28c
W ₃	K ₁	6 566.60cd	7.98cd	7.01d	218.88a	0.83d
	K ₂	6 675.23bc	7.92cd	7.51c	111.25b	0.84d
	K ₃	5 527.18f	7.88d	6.02f	61.41c	0.69e

施钾量只在中水水平下对棉花的有效铃数有显著性影响,与 W₂K₁处理相比,W₂K₂处理和 W₂K₃处理的有效铃数显著增加了 1.21 和 1.63 个/株,说明土壤含水率在田间持水率的 60%~80%时,最有利于棉花对钾肥的吸收利用。在中钾水平或高钾水平下,各灌水处理间的有效铃数表现为 W₂处理>W₃处理>W₁处理,且 W₂K₃处理的有效铃数 9.03 个/株显著高于其他各处理。

在低水水平下,W₁K₃处理的单铃质量最高为 7.94 g/个显著高于其他处理,增施钾肥有利于单铃质量的形成;在中水水平下,施钾量对单铃质量有显著影响,且表现为 K₂处理>K₃处理>K₁处理;说明钾肥能促进棉花单铃质量的形成,但是单株有效铃数的增加会减缓钾肥对棉花单铃质量的促进作用;在同钾施钾水平下,W₁处理的单铃质量最大,这与 W₁处理的有效铃数较小有关。

当灌水水平一致时,钾肥生产效率随着施钾量的增加而显著增加。在低水水平下,K₃处理的水分利用效率最高为 1.59 kg/m³,且显著高于 K₁处理和 K₂处理;在中水水平下,钾肥对水分利用效率的影响不显著;在高水水平下,K₃处理的水分利用效率最低为 0.69 g/m³,且显著低于 K₁处理和 K₂处理;说明过量灌水会降低棉花的水分利用效率;土壤含水率在田间持水率的 80%~100%时,棉花营养生长较大会导致钾肥抑制水分利用效率的提高。在施钾水平一致时,在保证棉花正常生长的情况下,灌溉期限定土壤水分区间越小,棉花对水分的利用效率越大。

3 讨 论

机采棉模式下,最适宜的棉花株高为 75~80 cm,这与当地高产棉花株高一致,但是与前人研究最适宜的株高 60~65 cm 存在差异^[19],可能是由于测定株高的起点子叶节和地面的不同引起的^[20]。叶面积指数是用来判断棉花的生长平衡和作物光合能力的指标^[17,21,32-33],适宜的株高和叶面积指数是棉花积累光合产物、均衡生长和获得高产的基础。在高施钾水平和较高土壤含水率下,棉花株高的日增长量显著高于其他处理,棉

花叶面积指数也相对较高^[22],有利于棉花的生长。本试验中叶面积指数和株高随着施肥量和灌水量的增加而增高,但在低水和高水灌水水平下,不同施钾水平的株高增量相差不多,可能是因为灌水起主导作用。且限定土壤含水率为田间持水率的60%~80%时,有利于棉花对钾肥的吸收,钾肥对株高的影响就更加明显。

前人研究得出,在 K_2O 量不超过 65.45 kg/hm^2 时,棉花的生物量随着施钾量的增加而增加^[23],这与本试验结果一致。同时有学者通过设定不同施钾量,研究发现施用 65.45 kg/hm^2 和 98.18 kg/hm^2 的 K_2O 较其他施肥量收获持续时间长,更有利于干物质的积累,且能为中后期棉铃的生长提供保障^[24-26],这可能是由于气候、栽培模式、土壤等对试验的影响导致了不同的结论。在常规灌溉和干旱灌溉时,钾肥可以促进棉花各生育期内生物量的积累,且在不同的生育期施钾肥都促进棉花生殖生长。而在丰水灌溉时,钾肥施用量过高会导致棉花旺长,生物量的积累向营养生长倾斜。因此,在钾肥施用量为 90 kg/hm^2 时,土壤含水率维持为田间持水率的60%~80%时,最有利于棉花生物量的积累。

新疆玛纳斯县土壤有效钾为 212 mg/hm^2 ,增施钾肥可以有效提高棉花的单株成铃数和产量;在 K_2O 施用量为 48.6 kg/hm^2 时,皮棉产量最高可达 $1\ 667.8\text{ kg/hm}^2$,且能有效提高棉花品质^[27]。在新疆昌吉兵团2 a试验研究得出试验点适宜的 K_2O 施用量为 $112.5\sim 150.0\text{ kg/hm}^2$,最高产量可达 $1\ 666\text{ kg/hm}^2$,且钾肥利用率随着施钾量的增加而减少^[28]。可能由于以上试验都没有考虑棉花在不同土壤含水率下的钾肥吸收情况,与本实验结论存在差异。本试验中,在不同的土壤含水率区间内,钾肥提高棉花单株成铃数和产量,钾肥利用率随着施钾量的增加而降低;而在土壤水分维持在较高区间时,过量的 K_2O 施用量过高会限制棉花产量的提高。棉花根系通过吸收水分来获取养分,而土壤含水率的大小会对吸收利用钾肥产生影响。因此,在土壤含水率范围为田间持水率的60%~80%,施钾量(K_2O)为 90 kg/hm^2 时,最有利于棉花产量形成。

新疆建设兵团土壤为壤土,最适宜的土壤含水率区间为田间持水率的70%~75%,棉花的单株蕾铃积累和产量最高,且生殖生长与营养生长比例最协调^[29]。而本试验条件下,棉花吸收钾肥最适宜的土壤含水率区间为田间持水率的60%~80%。在温室土壤中速效钾为 82.5 kg/hm^2 时,干旱胁迫处理棉花的钾素吸收率显著低于充分灌水处理,与本试验结果一致,说明充足的水分有利于棉花对钾素的吸收^[30]。然而土壤田间持水率过高和施钾量过高可以有效地增加棉花的叶面积指数、株高和生物量积累量等,但是过高的钾肥施用量会造成植株生长向着营养生长的方向倾斜^[31]。本试验仅为探究适宜当地施钾水平的土壤含水率区间,得出棉花产量在高肥处理下最大,因此当地最优的施钾量有待进一步研究。

4 结 论

1)棉花的株高和叶面积指数随着土壤含水率的增加而增大,土壤含水率为60%~80%田间持水率时,对棉花株生长的促进效果最佳。

2)在盛花期,土壤含水率过高或者过低,蕾占总生物量的比例都会降低,且中水高肥处理的生物量最高;在花铃期和吐絮初期钾肥能够促进棉花生长向生殖生长转移;对生物量和生殖促进作用最优的土壤含水率区间为田间持水率的60%~80%。

3)土壤含水率为田间持水率的60%~80%时,棉花的有效铃数随着施钾量的增加显著增加; W_2K_3 处理的籽棉有效铃数最高,为9.03个/株。钾肥能促进棉花单铃质量的形成,但是单株有效铃数的增加会减缓钾肥对棉花单铃质量的促进作用。在土壤含水率区间为田间持水率的60%~80%时,棉花的水分利用效率在施钾量为 90 kg/hm^2 时最高。在土壤含水率区间为田间持水率的60%~80%且施钾量为 90 kg/hm^2 时,棉花籽棉产量最高,为本试验最优的灌溉施钾方案。

参考文献:

- [1] 李少昆,王崇桃,汪朝阳,等. 北疆高产棉花根系构型与动态建成的研究[J]. 棉花学报, 2000,12(2):67-72.
- [2] 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.
- [3] 程洪花. 棉花怎样补施钾肥[J]. 江西棉花, 2006(4):38.
- [4] 田晓莉,王刚卫,杨富强,等. 棉花不同类型品种耐低钾能力的差异[J]. 作物学报, 2008,34(10):1 770-1 780.
- [5] 韩春丽,刘娟,张旺锋,等. 新疆绿洲农田土壤-棉花系统9种矿质元素生物循环特征[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6 234-6 241.
- [6] 张炎,王讲利,李磐,等. 新疆棉田土壤养分限制因子的系统研究[J]. 水土保持学报, 2005,19(6): 59-62.
- [7] 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生理机制[J]. 作物学报, 2009, 35(4):718-723.
- [8] 吴秀文,姜存仓,郝艳淑,等. 不同钾硼水平下棉花生长及钾硼利用效率的差异[J]. 中国土壤与肥料, 2016(2): 95-98, 119.
- [9] 刘爱忠,郑苍松,李鹏程,等. 追施不同形态氮肥对不同钾效率基因型棉花生长及产量品质的影响[J]. 棉花学报, 2017,29(4): 356-364.

- [10] 唐薇, 罗振, 温四民, 等. 干旱和盐胁迫对棉苗光合抑制效应的比较[J]. 棉花学报, 2007, 19(1): 28-32.
- [11] 张士荣, 白灯莎·买买提艾力, 等. 不同长绒棉品种的蕾铃脱落规律及影响因素[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(2): 115-121.
- [12] 孙克刚, 姚健, 焦有, 等. 棉花的需肥规律与施钾研究[J]. 土壤肥料, 1999(3): 12-14.
- [13] 张素菲, 龚光炎, 黑志平, 等. 棉田钾肥肥效临界值的研究[J]. 土壤通报, 1991(2): 79-81.
- [14] 汪霄, 陈防. 花铃期不同钾效率基因型棉花对干旱和低钾胁迫的响应差异[J]. 棉花学报, 2015, 27(1): 16-21.
- [15] 阿布都卡依木·阿布力米提, 赵经华, 马英杰, 等. 不同灌水量对南疆棉花墒情及长势的影响研究[J]. 节水灌溉, 2016(11): 15-18.
- [16] 李俊义, 刘荣荣, 王润珍, 等. 北疆棉花根系分布规律研究[J]. 中国棉花, 1999(6): 18-20.
- [17] 邓忠, 翟国亮, 宰松梅, 等. 不同栽培条件对膜下滴灌棉花叶面积指数及品质和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(1): 83-85.
- [18] 杨烈明, 黄年华, 郝伯钦, 等. 棉花叶面积的简易测定法-回归尺法[J]. 新疆农垦科技, 1991(4): 15.
- [19] 商连光, 熊冠军, 彭华, 等. 论棉花株型塑造与简化栽培[EB/OL]. 北京: 中国科技论文在线 [2013-07-24]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201307-329>.
- [20] 胡育昌. 棉花株高测量方法小议[J]. 中国棉花, 2005, 32(3): 38-39.
- [21] 张金珠, 王振华, 虎胆·吐马尔白. 干旱区秸秆覆盖对滴灌棉花生长及产量的影响[J]. 排灌机械工程学, 2014, 32(4): 350-355.
- [22] 李志军, 王海东, 张富仓, 等. 新疆滴灌施肥棉花生长和产量的水肥耦合效应[J]. 排灌机械工程学, 2015, 33(12): 1 069-1 077.
- [23] 付小勤, 原保忠, 刘燕, 等. 钾肥施用量和施用方式对棉花生长及产量和品质的影响[J]. 农学学报, 2013, 3(2): 6-11, 16.
- [24] 王娇, 张成, 殷志峰, 等. 钾肥对北疆陆地棉干物质积累动态、产量和品质的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(6): 86-92.
- [25] 房英. 钾肥对棉花产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 1998, 4(2): 196-197.
- [26] 张旺峰, 李蒙春, 杨新军. 北疆高产棉花干物质积累的模拟[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 1998(2): 3-8.
- [27] 张炎, 李宁, 胡伟, 等. 钾肥用量对棉花蕾铃脱落及产量品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(11): 2 088-2 095.
- [28] 李书田, 邢素丽, 张炎, 等. 钾肥用量和施用时期对棉花产量品质和棉田钾素平衡的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2016, 22(1): 111-121.
- [29] 何溪宏, 张伟. 土壤水分对不同棉花品种干物质积累及产量的影响[J]. 新疆农垦科技, 2015, 38(7): 3-5.
- [30] 杨长琴, 刘敬然, 张国伟, 等. 花铃期干旱和渍水对棉铃碳水化合物含量的影响及其与棉铃生物量累积的关系[J]. 应用生态学报, 2014, 25(8): 2 251-2 258.
- [31] 周晓彬, 段洪波, 舒冰, 等. 钾肥用量对棉花干物质的影响[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(12): 2 398-2 401.
- [32] 司转运, 高阳, 刘浩, 等. 水氮对滴灌夏棉生长特性和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(6): 19-25.
- [33] 李鹏程, 董合林, 刘爱忠, 等. 南疆膜下滴灌棉花不同密度群体初步研究[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(1): 61-64.

The Yield and Water and Potassium Use Efficiency of Machine-pick Cotton in Northern Xinjiang as Impacted by Water-potassium Coupling

PAN Junjie¹, FU Qiuping^{1*}, ZHAO Qiao¹, ZHEN Yicun¹, Abudoukayimu·Abulimiti^{1,2}, MA Yingjie¹

(1.College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Beijing Unism Technologies, Inc, Beijing 100085, China)

Abstract:【Objective】Soil water and nutrients interactively affect soil processes and the associated plant growth. In this paper we study the impact of water-potassium coupling on their use efficiency and cotton yield based on a field experiment. 【Method】We focused on machine-pick cotton under mulched drip irrigation by keeping the soil moisture at 40%~60%, 60%~80% and 80%~100% of field moisture capacity respectively; there were three potassium applications: 30, 60 and 90 kg/hm². Overall, there were nine treatments. In each treatment, we measured the plant height, leaf area index, biomass and yield. 【Result】When the soil moisture was within 60%~80% of the field capacity, increasing potassium application promoted plant growth. When the potassium application was 30 kg/hm² and 60 kg/hm², increasing soil moisture could significantly increase the daily growth of the plant height. The leaf area index increased with potassium and irrigation, and when the soil moisture was in 60%~80% of the field capacity and potassium application was 90 kg/hm², cotton biomass peaked; when the soil moisture was in 60%~80% of the field capacity, the number of effective bolls and seed cotton yield were both higher than those under other soil moisture treatments and they increased with potassium application. Increasing potassium promoted cotton boll quality, while increase in boll number per plant could comprise the effect of potassium fertilizer on cotton boll quality. When the irrigation was the same, the production efficiency of potash fertilizer increased significantly with potassium application. When the soil moisture content was in 80%~100% of the field capacity and potassium application was 90 kg/hm², the water use efficiency was the lowest. 【Conclusion】The suitable irrigation and fertilization is to keep the soil moisture within 60%~80% of the field holding and the potassium application at 90 kg/hm².

Key words: machine-pick cotton; water potassium coupling; drip irrigation under mulch; yield; water use efficiency

责任编辑:陆红飞