

钾肥用量对大蒜—棉花套作体系产量和土壤钾素有效性的影响

田晓飞, 李成亮, 张民, 郭延乐, 路艳艳, 于小晶

(土肥资源高效利用国家工程实验室, 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 为明确钾肥用量对大蒜—棉花套作体系产量和土壤钾素有效性的影响, 确定2季作物最佳钾肥施用量, 为黄淮海平原大蒜—棉花套作地区合理施用钾肥提供依据。于2013—2016年在山东省金乡县进行连续4年7季的田间定位试验, 试验设CK(0 kg/hm²), K90(90 kg/hm²), K180(180 kg/hm²), K270(270 kg/hm²) 4个不同施钾量(K₂O)处理。大蒜和棉花单季施钾量相同(K₂O 0, 90, 180, 270 kg/hm²), 各处理氮肥和磷肥施用量一致。分析不同施钾量对大蒜、棉花产量及产量构成的影响, 明确不同施钾量对棉花收获后0—100 cm土层速效钾含量和0—20 cm土壤钾素形态的影响。结果表明: 与CK相比, 不同施钾处理棉花显著增产18.4%~72.7%, 皮棉产量随施钾量的增加而增加, 但K270与K180处理皮棉产量和经济效益差异不显著; 施钾显著提高了棉花单株成铃数和单铃重, 对衣分含量无显著影响。与CK相比, 不同施钾处理大蒜蒜薹显著增产10.1%~64.2%, 鳞茎显著增产8.7%~93.3%。2016年K270处理蒜薹产量较其他处理显著增产6.6%~64.8%, 鳞茎显著增产32.5%~93.3%。大蒜经济效益以K270处理最高。增加钾肥施用量显著提高了棉花收获后0—20 cm土壤速效钾含量, 但各处理60—100 cm土层速效钾含量差异不显著。经过4年7季施肥后, K90, K180, K270处理较CK不同程度提高了0—20 cm土壤水溶性钾(13.6, 20.1, 26.1 mg/kg)、非特殊吸附钾(10.4, 19.6, 53.4 mg/kg)、非交换性钾(34.3, 53.9, 140.1 mg/kg)和全钾含量, 提高了水溶性钾和非特殊吸附钾的比例。综合土壤环境因素、作物产量和经济效益, 建议该大蒜—棉花套作区棉花施钾量为K₂O 180 kg/hm²、大蒜施钾量为K₂O 270 kg/hm²。

关键词: 钾肥用量; 蒜棉套作; 产量; 钾素有效性

中图分类号: S143.3⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)03-0277-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.03.046

Effects of Potassium Application Rates on Crop Yield and Soil Potassium Content in a Garlic-Cotton Intercropping System Under a Four-year Located Experiment

TIAN Xiaofei, LI Chengliang, ZHANG Min, GUO Yanle, LU Yanyan, YU Xiaojing

(National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resources, College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian Shandong 271018)

Abstract: Effects of potassium fertilizer application rates on crop yield, economic benefit and soil potassium content were studied in a cotton-garlic intercropping system by a four-year located experiment. There were four treatments, CK (K₂O 0 kg/hm²), K90 (K₂O 90 kg/hm²), K180 (K₂O 180 kg/hm²) and K270 (K₂O 270 kg/hm²). The results showed that K fertilizer application significantly increased cotton yield by 18.4%—72.7%. Lint cotton yield increased with the increase of potassium application rate, but no significant difference was observed between K180 and K270. The bolls and boll weight were significantly increased compared with CK. Potassium application increased garlic bulb and bolt yield by 10.1%—64.2% and 8.7%—93.3%, respectively, compared with CK. K270 had the highest bulb yield in 2016. Soil available K content increased in the 0—20 cm soil layer with the increase of potassium application rate but no significant difference was observed among treatments in the 60—100 cm soil profiles. After four-year fertilization, water-soluble K content of K90, K180, and K270 was increased by 13.6, 20.1, and 26.1 mg/kg, respectively; non-

收稿日期: 2016-12-13

资助项目: 国家“948”重点项目(2011-G30); 国家自然科学基金项目(41571236); 国家重点研发计划(SQ2017ZY060105)

第一作者: 田晓飞(1990—), 男, 山东临沂人, 博士研究生, 主要从事土壤肥科学及环境效应研究。E-mail: tianxiaofei624@163.com

通信作者: 李成亮(1976—), 男, 博士, 教授, 主要从事土壤肥科学及环境效益研究。E-mail: chengliang_li11@163.com

张民(1958—), 男, 博士, 教授, 主要从事土壤化学与新型肥料研究。E-mail: minzhang-2002@163.com

specifically adsorbed K content was increased by 10.4, 19.6, and 53.4 mg/kg, respectively; and non-exchangeable K content was increased by 34.3, 53.9, and 140.1 mg/kg, respectively compared with CK. The overall results suggest that the appropriate potassium application rate is K_2O 180 kg/hm² for cotton and K_2O 270 kg/hm² for garlic in the cotton-garlic intercropping area.

Keywords: potassium application rate; cotton-garlic intercropping system; yield; soil potassium availability

钾是农作物生长必需的营养元素之一,在提高作物产量、改善作物品质等方面起着重要作用^[1]。黄淮海平原是我国重要的棉花和大蒜生产基地,该地区大蒜(洋葱、小麦)一棉花套种已经成为华北平原重要的种植模式之一^[2]。近年来,随着氮、磷肥用量的加大及高产品种的推广,作物从土壤中带走的钾逐年增加,导致土壤缺钾面积逐步增大^[3]。与其他作物相比,棉花对钾素需求量更多,但其直根系,根量相对较小的特点导致其对土壤中钾的吸收能力偏低,因缺钾而导致早衰已成为限制我国棉花高产、稳产的主要因素之一^[4]。大蒜同样是典型的喜钾作物,钾素营养对大蒜产量和品质的形成起着关键作用^[5]。在黄淮海大蒜一棉花套作地区,增施钾肥已成为提高作物产量的重要措施之一,但追求作物高产稳产并不意味着过度的增加钾肥施用。我国钾肥资源匮乏^[6],过量的钾肥施用增加了农业投入,造成了钾肥资源浪费^[7-8]。关于钾肥对棉花产量的影响已有大量报道,但这些研究主要针对麦棉轮作或单作棉花的盆栽或田间试验^[5,7],而关于黄淮海棉区大蒜一棉花套作种植模式钾肥增产效应及适宜施用量的田间定位试验还未见报道。因此探究该地区合适的钾肥施用量对该地区科学施肥具有重要的意义。同时由于土壤钾素的存在形态、分布及其植物有效性是决定土壤供钾能力的重要因素^[9-10]。因此,本研究于 2013 年 4 月—2016

年 10 月在山东省金乡县进行连续 4 年 7 季的田间定位试验,探讨不同钾肥用量对大蒜一棉花套作体系产量、0—100 cm 土层速效钾含量、0—20 cm 土壤各形态钾分布特点,探明施用钾肥提高土壤钾素含量的原因,并为该地区大蒜一棉花套作体系合理的钾肥施用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验于 2013 年 4 月—2016 年 10 月在山东省济宁市金乡县鸡黍镇周莲池村(34°58'42" N, 116°10'56" E)进行。该地位于黄淮海平原地区,属暖温带季风气候区,年平均气温 13 ℃,年平均降水量 750 mm。当地大蒜(洋葱、小麦)一棉花套种是黄淮海地区典型的种植模式之一。供试土壤类型为潮土,在中国土壤系统分类中为普通淡色潮湿雏形土,0—20 cm 土壤砂粒含量 9.53%,粉粒含量 79.05%,粘粒含量 11.41%,土壤质地为粉壤土。0—20, 20—40 cm 基础土壤养分含量见表 1。

大蒜品种为金乡白皮蒜,棉花品种为鲁棉研 28,均为当地常用品种。供试肥料包括树脂包膜尿素(N 42%),硫加树脂包膜控释尿素(N 36%),大颗粒尿素(N 46%),磷酸二铵(N 18%、P₂O₅ 46%),硫酸钾(K₂O 50%)。所有肥料均由金正大生态工程集团股份有限公司提供。

表 1 基础土壤理化性质

土层 深度/cm	pH	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N/ (mg·kg ⁻¹)	NO ₃ ⁻ -N/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	全钾/%
0—20	7.67	15.03	0.71	10.68	18.09	34.70	97.5	1.54
20—40	7.70	11.33	0.49	10.34	17.54	14.32	101.2	1.55

1.2 试验设计

试验为田间定位试验,设 4 个处理,分别为 CK(0 kg/hm²),K90(大蒜和棉花分别施 K_2O 90 kg/hm²),K180(大蒜和棉花分别施 K_2O 180 kg/hm²),K270(大蒜和棉花分别施 K_2O 270 kg/hm²)。每个处理重复 3 次,各小区随机排列。各处理大蒜和棉花单季氮肥和磷肥用量(N 220 kg/hm², P₂O₅ 90 kg/hm²)完全一致,其中氮肥为控释氮肥和速效氮肥(各占氮肥总量的 50%,控释氮肥中树脂包膜氮肥和硫加树脂包膜控释氮肥各占 25%,尿素和磷酸二铵中速效氮占氮肥总量的 50%),磷肥为磷酸二铵,钾肥为硫酸钾。所有肥料分别按照当地施肥模式在大蒜

播种前和棉花蕾期时一次性施用。试验小区长 5.0 m,宽 4.4 m,面积 22 m²。小区与小区之间有 30 cm 的土埂相隔,灌溉时各小区用小型喷灌带单独浇水,并保证浇水量一致,减少因灌、排水造成养分的移动所引起的差异。每列小区之间有 1 m 的水沟用来在降雨过多时排水。

试验采用黄淮海棉区典型的大蒜一棉花套种模式,于 2013 年 4 月棉花移栽开始,2016 年 10 月棉花收获结束,共进行 4 年 7 季,其中第 1,3,5,7 季种植棉花,第 2,4,6 季种植大蒜。每年 10 月份中旬将大蒜季肥料以基肥的形式一次深翻施入土壤中,播种大蒜,大蒜种植行距 20 cm,株距 10 cm,同时每隔 80

cm 预留 30 cm 做棉花移栽行;次年 4 月份初进行棉花土钵育苗;5 月份上旬采收蒜薹;5 月份中旬将棉花苗移栽进预先留置好的行间,棉花行距 1.1 m,株距 30 cm;6 月份上旬大蒜鳞茎收获;6 月份中旬棉花施肥,施肥时将肥料施入距棉花根系 5~10 cm 左右的施肥沟中,并埋深 10~15 cm。在大蒜和棉花生育期内,按常规高产栽培技术进行田间管理。

1.2 样品采集与分析

5 月份上旬蒜薹收获,采收每小区中间 4 m² (长 4 m,宽 1 m),称重计算蒜薹产量。6 月份上旬鳞茎收获时在鳞茎膨大处向上 2 cm 位置剪断,去除根系后称量。10 月份上旬棉花收获时,每小区选取中间 2 行统计成铃数,同时每小区采集 100 朵棉絮,风干称重后计算单铃重,用皮辊机轧花后测定棉花衣分,根据小区株数、成铃数、单铃重和衣分含量,计算籽棉和皮棉产量。

在每年 10 月份上旬棉花收获时采用 5 点采样法采集 0—100 cm 土壤样品,每 20 cm 为 1 层,共采集 5 层样品。将每层 5 点取得的土样混匀用四分法保留 500 g,样品风干后磨细过 2 mm 筛,立即测定土壤速效钾。同时将 2016 年最后一季作物收获时 0—20 cm 土壤样品过 2.0,0.25 mm 筛,分别用于土壤各分级形态钾^[11]和全钾^[12]测定。基础土壤养分中测定土壤有机质含量(重铬酸钾容量法—外加热法)、全氮(H₂SO₄ 消煮,Smartchem 200 型间断流动分析仪测定)、硝态氮和铵态氮含量(0.01 mol/L CaCl₂ 浸提,AA3 型连续流动分析仪测定)、有效磷(0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提,钼锑抗比色法)、速效钾(0.5 mol/L

NH₄OAc 浸提,火焰光度计法)和 pH 值(水:土=2.5:1,pHS-3 型 pH 计测定)。土壤样品中速效钾用 1 mol/L 醋酸铵浸提;水溶性钾按水土比 10:1 用蒸馏水提取;土壤非特殊吸附钾用 0.5 mol/L 中性醋酸镁溶液提取,计算方法为^[11-12]:非特殊吸附性钾含量=醋酸镁溶液浸提钾含量—水溶性钾含量;土壤特殊吸附钾用 1 mol/L 中性醋酸铵溶液提取,计算方法为:特殊吸附钾含量=醋酸铵溶液浸提钾含量—醋酸镁溶液浸提钾含量;非交换性钾用 1 mol/L 硝酸溶液煮沸提取,计算方法为:非交换性钾含量=硝酸溶液消煮浸提钾含量—醋酸铵溶液浸提钾含量;矿物态钾含量计算方法为:矿物钾含量=全钾含量—硝酸溶液消煮浸提钾含量;全钾用氢氟酸—高氯酸溶液消煮法提取;各提取液中的钾稀释后用火焰光度法测定。

1.3 数据统计与分析

试验数据均采用 Excel 2003 和 SAS 9.2 软件进行计算和方差分析,应用 Duncan 检验法对不同处理间差异显著性($p < 0.05$)进行多重比较分析,用 Excel 2010 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 钾肥用量对作物产量和经济效益的影响

施肥显著提高了棉花茎粗,但对果枝数的影响存在年度间差异(表 2)。K270 处理较 K90 处理显著提高了茎粗,但与 K180 处理差异不显著。与 K90 处理相比,K180 处理茎粗显著增加(2015 年 K90 与 K180 处理差异不显著)。2016 年 K180 和 K270 处理较 K90 处理果枝数分别显著增加 0.87,1.07 个。

表 2 2013—2016 年棉花茎粗和果枝数

处理	茎粗/cm				单株果枝数/个			
	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
CK	1.50c	1.52b	1.51c	1.50c	14.89a	14.17a	13.93b	12.33c
K90	1.68b	1.57b	1.57bc	1.60b	14.93a	14.83a	14.50ab	13.33b
K180	1.80a	1.74a	1.63ab	1.72a	15.78a	15.33a	14.57ab	14.20a
K270	1.82a	1.73a	1.69a	1.73a	15.93a	15.50a	15.13a	14.40a

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($p < 0.05$)。下同。

由表 3 可知,K180 和 K270 处理成铃数显著高于 K90 处理,但 2013 年 K90 与 K180 处理成铃数差异不显著。2016 年各处理成铃数呈现 K270>K180>K90>CK 的趋势。与 K90 处理相比,K180 和 K270 处理单铃重分别增加 0.02~0.13,0.16~0.34 g,但 K180 和 K270 处理单铃重差异不显著。2013 年、2014 年、2015 年 K90、K180、K270 处理衣分含量差异不显著;2016 年 K270 和 K180 处理衣分含量显著高于 K90 处理。因此增施钾肥对棉花增产主要表现在提高成铃数和铃重,衣分含量对棉花产量的提高作用较小。2013—2016 年籽棉产量以 K180 和 K270

最高,2015 年 K90 与 K180 处理籽棉差异不显著。与 K90 处理相比,2013—2016 年 K180 处理皮棉分别增产 5.1%,13.5%,21.3%,22.2%;K270 处理分别增产 10.6%,18.6%,25.6%,31.3%。4 年的试验结果均表明 K180 与 K270 处理皮棉差异不显著,这可能与基础土壤中速效钾含量(97.5 mg/kg)较高,高量钾肥施用对皮棉增产效果有限。从经济效益(表 5)来看,棉花产值和经济效益随施钾量的增加而提高,但 K180 和 K270 处理经济效益差异不显著,因此,综合棉花产量、经济效益和钾肥施用量建议棉花钾肥施用量为 180 kg/hm²。

表 3 2013—2016 年不同处理棉花产量及产量构成

年份	处理	单株成铃数/个	单铃重/g	籽棉/(kg·hm ⁻²)	衣分/%	皮棉/(kg·hm ⁻²)
2013 年	CK	23.48c	5.54c	2704.96c	40.04a	1083.35c
	K90	28.33b	6.06b	3570.48b	40.93a	1462.01b
	K180	29.11ab	6.19a	3748.30ab	40.97a	1535.76ab
	K270	30.34a	6.22a	3926.20a	41.20a	1617.20a
2014 年	CK	19.82c	6.20c	2555.82c	40.27b	1029.08c
	K90	24.71b	6.72b	3454.97b	40.73a	1407.04 b
	K180	27.32a	6.84ab	3885.92a	41.08a	1596.29a
	K270	27.41a	7.05a	4019.01a	41.50a	1668.02a
2015 年	CK	24.00c	5.00b	2495.00c	39.53b	986.27c
	K90	26.45b	6.48a	3557.34b	40.12ab	1427.50b
	K180	30.78a	6.50a	4162.61a	41.60a	1731.97a
	K270	30.84a	6.73a	4308.72a	41.60a	1792.07a
2016 年	CK	20.72d	5.97c	2578.60c	39.43c	1017.07c
	K90	23.00c	6.38b	3052.09b	40.02b	1221.88b
	K180	25.87b	6.70a	3608.55a	41.37a	1492.06a
	K270	27.72a	6.72a	3875.55a	41.38a	1603.24a

注:同一年度同列不同小写字母表示处理间差异显著($p<0.05$)。

由表 4 可知,与 CK 相比,施钾处理蒜薹和鳞茎分别显著增产 10.1%~64.2%和 8.7%~93.3%。2014 年 K180 和 K270 较 K90 蒜薹分别显著增产 18.9%和 26.8%。2015 年蒜薹和鳞茎产量均以 K180 和 K270 处理最高,较 K90 蒜薹分别显著增产 31.5%和 38.9%,鳞茎分别显著增产 7.8%和 14.0%,但 K180 和 K270 处理蒜薹和鳞茎产量差异不显著。2016 年蒜薹和鳞茎产量均为 K270>K180>K90>CK。从经济效益(表 5)来看,大蒜产值、经济效益和增产值随施钾量的增加而提高。综合大蒜产量、经济效益和钾肥施用

量在黄淮海棉区大蒜—棉花套作模式下建议大蒜钾肥施用量为 270 kg/hm²。

表 4 2014—2016 年不同处理大蒜产量

处理	单位:kg/hm ²					
	蒜薹			鳞茎		
	2014 年	2015 年	2016 年	2014 年	2015 年	2016 年
CK	2293.2c	2139.6c	1666.0d	16140.0b	15800.7c	10287.1d
K90	2595.9b	2356.5b	2090.0c	18280.7ab	17166.6b	12295.9c
K180	3086.3a	3097.1a	2566.7b	18926.0ab	18500.6a	14995.3b
K270	3292.8a	3273.3a	2736.7a	19806.7a	19566.4a	19880.9a

表 5 棉花和大蒜年平均经济效益

处理	棉花				大蒜			
	产值	总投入	经济效益	增产值	产值	总投入	经济效益	增产值
CK	18731c	10000d	8731c	—	81095d	65000d	16095d	—
K90	24621b	10569c	14052b	5321b	92531c	65556c	26979c	10884c
K180	27699a	11138b	16561a	7830a	104899b	66112b	38787b	22692b
K270	29024a	11706a	17318a	8487a	118019a	66668a	51351a	35256a

注:2013 年、2014 年、2015 年、2016 年钾肥价格分别为 3.37、3.42、3.30、2.35 元/kg,籽棉价格分别为 8.5、6.8、6.2、7.4 元/kg,棉花其余投入(氮肥、磷肥、人工、种子、农药、收获等)均为 10 000 元/hm²;2014 年、2015 年、2016 年蒜薹价格分别为 3.2、3.0、4.2 元/kg,鳞茎价格分别为 3.6、5.2、8.0 元/kg,其余投入(氮肥、磷肥、人工、种子、农药、收获等)为 65 000 元/hm²。经济效益=产值-总投入;增产值=施钾处理经济效益-不施钾肥处理经济效益。

2.2 钾肥用量对土壤速效钾剖面分布的影响

2013—2016 年棉花收获时各处理土壤速效钾含量随深度增加变化趋势基本一致(图 1),均在 0—20 cm 土层最高,0—80 cm 土层随深度增加而降低,但在 80—100 cm 土层速效钾含量基本稳定或略有升高。与基础土壤相比,CK 处理 0—20 cm 土层速效钾含量随种植年限的增加而逐渐降低,而 K270 处理则呈现逐渐升高的趋势。结果表明,不施钾肥会导致耕层土壤速效钾含量降低,大量的钾肥施用会导致钾素在耕层土壤中累积。在 0—20,20—40 cm 土层,土壤速效钾含量均以 K270 最高,K180 处理次之,但各处理 60—100 cm 土层速效钾含量无明显变化。2016

年 K270 处理 40—60 cm 土层速效钾含量显著高于其他处理,说明长期大量的钾肥施用增加了钾素向下层土壤淋溶的趋势。

2.3 钾肥用量对土壤不同形态钾素的影响

经过 4 年 7 季施肥后,各处理土壤中不同形态钾素含量为矿物钾>非交换性钾>特殊吸附钾>非特殊吸附钾>水溶性钾(K270 处理非特殊吸附钾含量高于特殊吸附钾,表 6)。施用钾肥显著提高了 0—20 cm 土壤水溶性钾和非特殊吸附钾含量,且均以 K270 处理最高。K270 处理水溶性钾含量较 K90 和 K180 处理分别显著增加 23.9%和 66.5%,非特殊吸附钾含量分别显著增加 62.2%和 95.8%。K180 处理水

溶性钾和非特殊吸附钾含量均显著高于 K90 处理, K90、K180 和 K270 处理间特殊吸附钾和非交换性钾含量差异不显著。施用钾肥提高了土壤中矿物态钾含量, K270 处理显著高于 K180 和 K90 处理, 但

K180 与 K90 处理差异不显著。与基础土壤相比, CK 处理土壤全钾和速效钾含量均降低, 说明长期不施钾肥土壤速效钾和全钾含量逐渐降低。

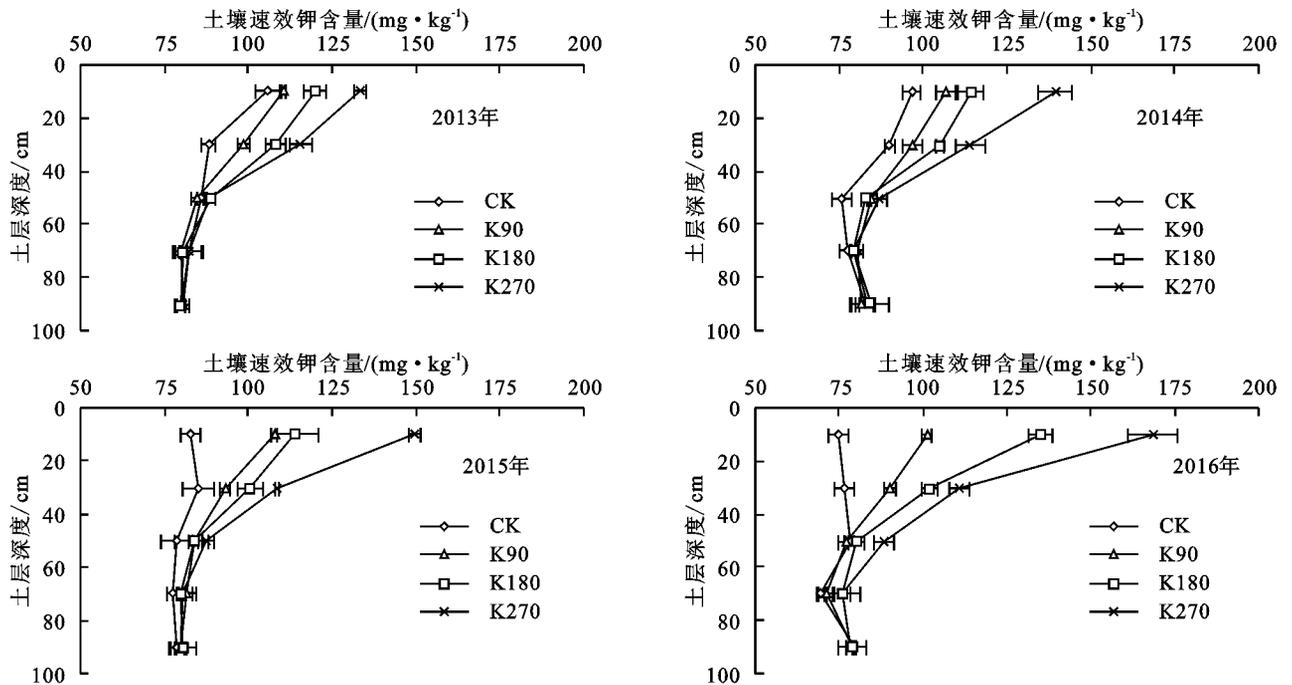


图 1 2013—2016 年棉花收获后不同处理 0—100 cm 土壤速效钾含量动态变化

表 6 2016 年棉花收获后 0—20 cm 土壤钾素形态

处理	水溶性钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	非特殊吸附钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	特殊吸附钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	非交换性钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	矿物 态钾/%
CK	5.25d	34.51d	40.23b	824.51b	1.42c
K90	18.81c	44.86c	76.34a	858.80ab	1.45bc
K180	25.30b	54.14b	80.85a	878.40ab	1.48b
K270	31.34a	87.87a	80.55a	964.55a	1.56a

经过 4 年 7 季施肥后, 施用钾肥显著提高了 0—20 cm 土层水溶性钾、非特殊吸附钾和特殊吸附钾比例, 但各处理非交换钾和矿物态钾比例差异不显著 (表 7)。K270 与 K180 处理土壤水溶性钾比例差异不显著, 均显著高于 K90 处理。随施钾量的增加, 土壤非特殊吸附钾比例显著提高, 这与钾肥中的钾素是以速效钾形态存在, 施入土壤中除部分被作物吸收利用外, 还有部分钾素在土壤中转化为缓效钾, 从而提高了水溶性钾、非特殊吸钾的比例。K90, K180, K270 处理特殊吸附钾比例差异不显著, 且不同处理非交换性钾和矿物态钾比例差异不显著。

施用钾肥提高了 0—20 cm 土壤全钾含量, 但 K90 和 CK 处理差异不显著 (图 2)。K180 处理较 CK 显著提高了全钾含量。土壤全钾含量以 K270 处理最高, 较其余处理显著增加 0.2%~6.7%。与基础土壤相比, K270 处理土壤全钾含量有所提高, 但 CK 和 K90 处理土壤全钾有所下降, 说明不施钾肥或钾肥施用量不足会消耗土壤中的非交换性钾和常年释放的矿物钾, 从而降低土壤全钾含量。

表 7 2016 年棉花收获后各处理不同形态钾素占全钾的比例
单位: %

处理	水溶 性钾	非特殊 吸附钾	特殊 吸附钾	非交换 性钾	矿物 态钾
CK	0.03c	0.23d	0.27b	5.48a	94.52a
K90	0.12b	0.29c	0.50a	5.59a	94.41a
K180	0.16a	0.34b	0.51a	5.59a	94.41a
K270	0.18a	0.49a	0.45a	5.41a	94.59a

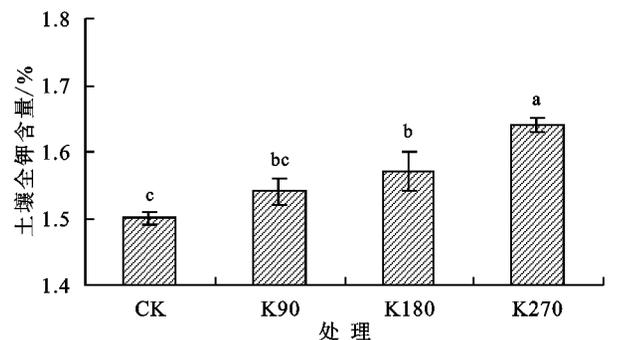


图 2 2016 年棉花收获后各处理 0—20 cm 土壤全钾含量

3 讨论

合理施用钾肥是棉花高产的重要保证, 但钾肥用量对棉花产量构成要素的影响报道不尽一致。4 年结果表明, 增施钾肥对棉花增产主要表现在提高成铃数和单铃重 (表 3), 对衣分的影响在年际间存在差异。其原因可能是基础土壤中速效钾含量 (97.5 mg/kg) 较高, 前 2 年施用钾肥对棉花衣分含量的影

响较小。经过 4 年施肥后,施钾显著提高了衣分含量。董合忠等^[13]研究表明,施钾可增加单铃重,但对单株成铃数无显著影响;李宗泰等^[14]则认为单株成铃数的增加是钾肥提高棉花产量的主要原因。耿计彪等^[15]研究则表明,施用钾肥能够有效提高棉花单株铃数和单铃重,但对衣分无显著影响。本研究表明,施用钾肥皮棉显著增产 18.4%~72.7%,并且皮棉产量随施钾量的增加而增加,但 K270 与 K180 处理的皮棉产量(表 3)和经济效益(表 5)差异不显著。董合林等^[5]在黄淮海平原麦棉两熟制地区的研究结果也表明,过量钾肥施用并未继续提高棉花产量,甚至会降低皮棉产量(超过 105 kg/hm²)。因此,在黄淮海大蒜—棉花套作体系下,180 kg/hm² 为适宜的棉花钾肥施用量。

2016 年大蒜蒜薹和鳞茎产量均低于 2014 年和 2015 年(表 4),这一方面可能与长期定位种植条件下,大蒜连作障碍严重,另一方面可能与 2016 年 1 月份黄淮海大蒜—棉花套作区连续出现的极端低温天气(-17℃)有关,低温条件下大蒜冻害严重,降低了蒜薹和鳞茎产量有关。施钾显著提高了大蒜鳞茎产量,但钾肥对鳞茎的增产效果在年际间存在差异。2014 年和 2015 年 K180 与 K270 处理鳞茎产量差异不显著,但 2016 年鳞茎产量以 K270 处理最高,K180 处理次之,这可能与增施钾肥提高了作物抗寒能力^[16],提高了大蒜对极端低温胁迫的适应能力有关。因此,在黄淮海大蒜—棉花套作体系下,270 kg/hm² 为适宜的大蒜钾肥施用量。

土壤钾素的存在形态、分布及其植物有效性是决定土壤供钾能力的重要因素^[17]。本研究表明,土壤非特殊吸附钾比例随施钾量的增加而增加(表 6),这主要因为钾肥中的钾素是以速效钾形态存在^[18],从而施钾提高了土壤中速效钾含量(表 7)。本研究结果还表明,施钾对 60—100 cm 土壤速效钾含量影响不显著(图 1),这是由于施肥主要集中在 0—20 cm 土层,且土壤中速效钾主要以吸附或固定形态存在,迁移以扩散为主^[19],施入的养分留在土壤中较多,淋溶损失较少。但长期耕作一方面打乱了耕层土壤原有的分布状态,另一方面改变了中部土层长期形成的紧实状态,使土壤透气性增加,从而促使土壤矿化增强和上部土壤速效钾的淋溶,进而导致中下部速效钾含量的增加。因此经过 4 年 7 季施肥后,高施钾量(K₂O 270 kg/hm²)处理较不施钾肥(K₂O 0 kg/hm²)处理显著提高了 40—60 cm 土壤速效钾含量,这与 Rosolem 等^[20]通过在巴西连续 6 年的田间试验得出耕层以下钾的淋失量随施钾量增加而显著增加的结论相一致。

土壤水分影响着土壤钾素形态、含量、平衡及运移过程,从而影响着土壤钾素植物有效性的高低。已有研究表明,增施钾肥能够显著改善土壤持水性能^[21],这也可能是施钾提高大蒜和棉花产量的原因,但针对大蒜—棉花套作模式下土壤水分和钾肥的交互作用还有待于进一步研究。同时尽管本研究所用土壤钾素较为丰富,各施钾处理土壤全钾含量下降较少或基本稳定(图 2),但长期种植下仅靠自身的循环或少量钾肥施用,使作物带走的钾素得不到补充,必将会导致土壤钾素含量的下降^[22]。为了维持或提高土壤肥力,使作物高产、稳产,针对大蒜—棉花套种模式下钾肥施用量与土壤钾素平衡等问题还有待进一步研究。

4 结论

(1)与不施钾肥处理相比,施钾处理皮棉显著增产 18.4%~72.7%,大蒜蒜薹显著增产 10.1%~64.9%,鳞茎增产 8.1%~87.3%。随钾肥施用量增加,棉花产量逐渐增加,但施 K₂O 180 kg/hm² 和 270 kg/hm² 皮棉产量和经济效益差异不显著。施钾肥显著提高了棉花成铃数和单铃重,对衣分无显著影响。2016 年大蒜鳞茎和蒜薹产量均以施 K₂O 270 kg/hm² 处理最高。同时 K₂O 270 kg/hm² 处理显著提高了大蒜产值和经济效益。

(2)增施钾肥提高了 0—20 cm 土壤速效钾含量。随种植年限的增加,不施钾肥处理 0—20 cm 土壤速效钾含量逐渐降低,施 K₂O 270 kg/hm² 处理速效钾含量逐渐升高,施钾肥对 60—100 cm 土层速效钾含量影响不显著。施钾提高了土壤水溶性钾、非特殊吸附钾含量和比例,但各处理土壤非交换性钾和矿物态钾比例差异不显著。因此,综合作物产量和经济效益,在黄淮海大蒜—棉花套作模式下棉花和大蒜建议施钾量分别为 K₂O 180 kg/hm² 和 270 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 高翔,李成亮,张民,等.钾肥种类及用量对马铃薯生长和品质的影响[J].水土保持学报,2014,28(2):143-148.
- [2] 田晓飞,李成亮,张民,等.控释氮肥对洋葱—棉花套作体系产量及土壤氮含量的影响[J].农业环境科学学报,2015,34(4):745-752.
- [3] 展曼曼,王宁,田晓莉.棉花钾营养效率的基因型差异研究进展[J].棉花学报,2012,24(2):176-182.
- [4] 陈昆,刘世琦,张自坤,等.钾素对水培大蒜生理和品质的影响[J].园艺学报,2011,38(3):556-562.
- [5] 董合林,李鹏程,刘敬然,等.钾肥用量对麦棉两熟制作物产量和钾肥利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(5):1159-1168.
- [6] 白仟,袁俊宏,王章俊.国内外水溶性钾盐资源及我国钾盐产业发展现状[J].资源与产业,2014,16(2):37-46.