

宫进波, 盛建东, 汤明尧, 等. 南疆地区玉米和棉花的氮磷钾肥利用效率及影响因素[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(5): 20-27.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.05.003

南疆地区玉米和棉花的氮磷钾肥利用效率及影响因素

宫进波^{1,2}, 盛建东¹, 汤明尧², 傅国海³, 唐光木⁴, 闫翠侠²

1. 新疆农业大学资源与环境学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆维吾尔自治区土壤肥料工作站, 乌鲁木齐 830009;
3. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125; 4. 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 为探究南疆施肥效果以及土壤肥力与肥料利用效率之间的相关性, 2021年, 在南疆地区开展35个肥料利用率田间试验(玉米16个、棉花19个), 设置缺素处理(NP、PK、NK)和全肥处理(NPK), 分别对玉米、棉花施用氮、磷、钾肥的产量反应、农学效率、养分积累规律、土壤肥力和施肥对肥料利用效率的影响等开展针对性研究。结果显示: 玉米和棉花的NPK处理平均产量分别为14 020.3 kg/hm²和6 582.7 kg/hm², 二者的平均农学效率分别为N 13.0 kg/kg、P₂O₅ 13.3 kg/kg、K₂O 10.7 kg/kg和N 6.1 kg/kg、P₂O₅ 7.6 kg/kg、K₂O 7.5 kg/kg, 氮、磷、钾肥平均利用率分别为42.4%、21.2%、54.1%和41.7%、18.9%、58.2%, 施氮、磷、钾肥分别增产30.6%、14.7%、6.5%和41.5%、21.1%、13.4%。施肥可显著提高玉米和棉花对氮、磷素的吸收, 每形成100 kg玉米籽粒需要N 2.44 kg、P₂O₅ 0.91 kg、K₂O 2.87 kg, 每形成100 kg棉花籽棉需要N 5.37 kg、P₂O₅ 1.67 kg、K₂O 4.36 kg。玉米磷肥利用率与磷肥施用量呈显著负相关, 棉花磷钾肥利用率与磷钾肥施用量也均呈显著负相关。玉米产量与磷肥施用量呈显著负相关, 与土壤有效磷含量又呈显著正相关, 南疆地区玉米可能存在一定的过量施用磷肥问题。玉米、棉花的钾肥利用率与土壤有效磷含量呈显著负相关。土壤pH与棉花产量、玉米的氮磷肥利用率均呈显著负相关。结果表明, 南疆地区土壤盐碱化是影响棉花产量及玉米氮、磷肥利用率提高的主要限制因素之一。

关键词 土壤肥力; 玉米; 棉花; 肥料利用效率; 盐碱耕地治理; 南疆

中图分类号 S562; S505; S513 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)05-0020-08

玉米、棉花是南疆地区最主要的农作物。2020年, 南疆地区玉米产量占新疆玉米总产量的24.55%; 棉花产量占新疆棉花总产量的38.97%, 占全国总产量的34.03%^[1-2]。种植玉米、棉花的收益是南疆农民主要经济来源之一。肥料是农作物的“粮食”, 施肥是农作物高产的关键^[3]。然而, 由于农民缺乏科学施肥指导, 为实现农作物高产, 肥料施用量偏高, 配比不合理, 导致作物产量不高, 资源浪费, 肥料利用效率普遍较低。同时还造成了农产品品质下降、环境污染等问题。因此, 提高肥料利用效率和施肥效益, 对促进南疆地区农业可持续发展具有重要意义。

土壤基础肥力水平是影响肥料利用率高低的基本因子, 随着土壤基础地力的提高, 农作物对肥料养分的依赖性变小, 在保证农作物产量的前提下可降低肥料施用量。肥料利用率受到土壤肥力、施肥用

量、施肥方法、肥料类型等多种因素的影响^[4]。哈丽哈什·依巴提等^[5]研究发现, 配方施肥对棉花肥料利用率和产量有显著提高。梁涛等^[6]研究表明, 高基础地力会降低肥料的利用效率。杨小梅等^[7]研究表明平衡施肥不仅能提高农作物的产量, 还可以提高肥料利用效率, 减少环境污染。土壤肥力状况是土壤养分管理和制定平衡施肥方案的重要依据。近年来对化肥利用效率的研究大多集中在整合田间试验、化肥施用量和产量的数据以及研究施肥处理对农作物产量、肥料利用效率的影响, 但关于土壤肥力与肥料利用效率之间的关系研究相对较少。

因此, 笔者所在团队于南疆地区开展玉米、棉花肥料利用率的田间试验, 研究玉米和棉花的氮磷钾肥的利用效率及影响因素, 旨在为南疆乃至全疆的科学合理施肥提供基础数据和技术支撑。

收稿日期: 2022-11-07

基金项目: 新疆维吾尔自治区重大科技专项(2020A01002-3); 农业农村部化肥减量增效项目(2021年)

宫进波, E-mail: 3054507885@qq.com

通信作者: 汤明尧, E-mail: 78291308@qq.com

1 材料与方法

1.1 试验点概况

2021年,笔者所在团队在南疆地区布设肥料利用率田间肥效试验35个(玉米16个,棉花19个),具体试验点分布于阿克苏市、库尔勒市、库车市、沙雅县、温宿县、拜城县、柯坪县、和硕县、阿瓦提县9个县市。试验区为温带大陆性荒漠气候,降雨量少,年均日照时长为2 570~4 440 h,年均温度7.0~14.0℃,全年降水量25.0~100.0 mm,全年无霜期180~220 d。试验地肥力均匀,具有代表性,土壤类型主要为潮土、棕漠土、灌漠土、风沙土等,质地为壤土或砂壤土。试验前以“S”取样法取耕层0~20 cm基础土样,

采用酸度计测定土壤pH,分别采用碱解扩散法、重铬酸钾外加热法、钼锑抗比色法和火焰光度计法测定土壤碱解氮、有机质、有效磷和速效钾的含量。试验点土壤的基础理化性质见表1。

选取土壤pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾5个因子作为肥力评价指标,在第二次全国土壤普查分级指标^[8]的基础上,结合相关研究方法^[9],使用主成分分析法计算出各评价指标的权重系数,根据模糊数学中加乘法原理,加和后即为土壤综合肥力评价指数IFI。表2显示,玉米试验区土壤IFI值在0.24~0.62,均值为0.39;棉花试验区土壤IFI值在0.14~0.90,均值为0.35。玉米田和棉花田的土壤肥力大多处于V、IV、III水平。

表1 试验点土壤基础理化性质

Table 1 Basic physico-chemical propertie of soil at the test site

作物 Crops	肥力指标 Fertility index	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数/% CV
	pH	7.9	8.4	8.1	0.2	2.4
玉米 Maize (n=16)	有机质/(g/kg) Organic matter	10.2	19.5	14.0	2.8	19.8
	碱解氮/(g/kg) Alkali-hydro N	25.9	67.1	55.6	10.8	19.4
	有效磷/(g/kg) Available P	5.4	36.7	21.9	8.3	37.7
	速效钾/(g/kg) Available K	129.0	356.1	258.6	58.7	22.7
	pH	7.6	9.3	8.2	0.4	5.2
棉花 Cotton (n=19)	有机质/(g/kg) Organic matter	7.6	24.9	12.6	5.1	40.8
	碱解氮/(g/kg) Alkali-hydro N	26.8	93.0	51.3	15.0	29.2
	有效磷/(g/kg) Available P	7.6	68.4	21.1	12.9	61.0
	速效钾/(g/kg) Available K	68.3	324.0	159.9	55.0	34.4

表2 土壤肥力IFI统计描述特征

Table 2 The statistical descripton of characteristics soil fertility IFI

作物 Crops	样本数 Sample number	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数/% CV
玉米 Maize	16	0.24	0.62	0.39	0.12	29.53
棉花 Cotton	19	0.14	0.90	0.35	0.18	51.41

注 Note: $IFI \leq 0.4$ (V级 V Grade), $0.4 < IFI \leq 0.5$ (IV级 IV Grade), $0.5 < IFI \leq 0.6$ (III级 III Grade), $0.6 < IFI \leq 0.7$ (II级 II Grade), $IFI > 0.7$ (I级 I Grade)。

1.2 试验设计

玉米试验严格按照农业农村部《基于田间试验的三大粮食作物化肥利用率测算规范(试行)》实施,棉花试验同样参照实施。

试验设置PK处理(缺氮)、NK处理(缺磷)、NP处理(缺钾)、NPK处理(全肥处理)4个处理,3次重

复,随机区组排列。试验小区以垄向为试验区长边,四周设置保护行,单灌单排。

施肥量的确定基于当地农民的施肥调查,确保代表当地实际施肥水平,供试肥料为尿素(N 46%)、重过磷酸钙(P_2O_5 46%)、硫酸钾(K_2O 50%)及其他水溶性化肥。同一试验点播种、灌水、化控等完全一致,且在同一天完成。生产管理措施与当地常规管理保持一致。

1.3 植株样品采集与测定

按照NY/T 2911—2016《测土配方施肥技术规范》进行取样和样品处理,植株分茎叶和籽粒(籽棉)两部分,分别采用凯氏定氮法、钼锑抗比色法和火焰光度计法测定植株的全氮、全磷和全钾。

1.4 相关指标计算

磷肥和钾肥计算方法同氮肥。

产量反应、农学效率、养分积累量、肥料利用率等指标计算公式如下:

缺氮相对产量 = 缺氮区籽粒产量/全肥区籽粒产量 × 100%

氮肥产量反应 = 全肥区籽粒产量 - 缺氮区籽粒产量

氮肥农学效率 = (全肥区籽粒产量 - 缺氮区籽粒产量)/施氮肥量

地上部氮素积累量 = 茎叶干物质质量 × 茎叶干物质含氮量 + 籽粒干物质质量 × 籽粒干物质含氮量

氮肥利用率 = (全肥区植株地上部氮素积累量 - 缺氮区植株地上部氮素积累量)/施氮肥量 × 100%。

1.5 数据分析

采用Excel 2020 进行数据处理,SPSS 26 进行单因素方差分析和差异显著检验,Origin 2021 绘图。

2 结果与分析

2.1 南疆地区玉米、棉花施肥及产量特征

从施肥的产量特征描述统计(表3)和施肥产量反应(图1)可知,南疆地区玉米、棉花施用氮肥的产

量反应显著高于施用磷、钾肥的产量反应,玉米NPK处理平均产量相较PK、NK、NP分别增产2 862.6、1 721.4、826.3 kg/hm²,增产率分别为30.6%、14.7%、6.5%;棉花NPK处理平均产量相较PK、NK、NP分别增产1 879.8、1 122.0、704.0 kg/hm²,增产率分别为41.5%、21.1%、13.4%。玉米、棉花对缺氮最敏感,钾肥对产量的影响相对较小。此外,玉米氮肥产量反应明显高于棉花。

表3 南疆地区玉米和棉花施氮、磷、钾肥的产量特征描述统计

Table 3 Yield and relative yield of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer application for maize and cotton in Southern Xinjiang

作物 Crops	项目 Item	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 SD	25%分位数 25Q	50%分位数 50Q	75%分位数 75Q
玉米 Maize (n=16)	施氮量 N	205.5	310.5	221.1	26.5	207.0	207.0	225.0
	施磷量 P ₂ O ₅	103.5	208.8	134.9	36.2	105.2	110.4	172.5
	施钾量 K ₂ O	75.0	90.0	77.5	5.0	75.0	75.0	78.0
	NPK 产量 Yield	10 134.0	15 276.3	14 020.3a	1 745.6	13 623.8	14 876.7	14 977.1
	PK 产量 Yield	5 853.0	13 317.0	11 157.7c	2 632.9	10 815.0	12 629.1	12 931.5
	NK 产量 Yield	8 244.0	13 813.1	12 298.9bc	1 898.6	11 820.0	13 170.3	13 448.2
棉花 Cotton (n=19)	NP 产量 Yield	9 579.0	14 592.6	13 194.0ab	1 775.5	1 933.8	13 942.6	14 345.1
	施氮量 N	206.3	448.5	305.5	51.6	276.0	289.8	342.0
	施磷量 P ₂ O ₅	96.6	375.0	152.5	56.9	126.0	138.0	151.8
	施钾量 K ₂ O	68.9	249.0	97.8	39.6	75.0	90.0	105.0
	NPK 产量 Yield	4 998.6	8 370.0	6 582.7a	859.6	6 045.0	6 255.0	7 101.0
	PK 产量 Yield	3 622.2	5 910.0	4 702.9c	655.3	4 172.1	4 815.0	4 965.0
	NK 产量 Yield	4 323.6	6 871.1	5 460.7b	793.9	4 845.0	5 220.0	5 625.0
	NP 产量 Yield	4 477.5	7 515.0	5 878.7b	1 035.3	4 639.5	5 790.0	6 978.0

注:同一作物不同字母表示差异显著(P<0.05)。下同。Note: For the same crop, the different letters represent the significant difference (P<0.05).The same as below.

2.2 南疆地区玉米、棉花的养分吸收特征

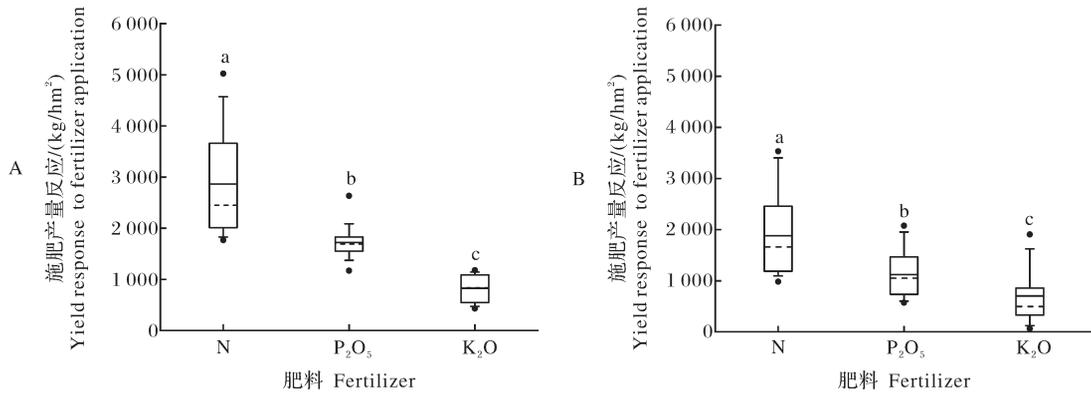
玉米NPK处理植株籽粒和茎叶氮、磷、钾素积累量较相应缺素处理分别增加38.6%、26.8%、16.5%和36.4%、30.0%、10.5%。棉花NPK处理植株籽粒和茎叶氮、磷、钾素积累量较相应的缺素处理分别增加56.8%、34.3%、22.1%和48.3%、33.0%、24.3%。施用氮、磷肥料可以显著促进植株对氮、磷素的吸收,植株养分吸收的氮、磷主要累积于籽粒,吸收的钾主要累积于茎叶。玉米和棉花对氮、钾素的吸收量大,对磷素吸收量较少(图2)。玉米NPK处理每形成100 kg籽粒分别需要氮(N)2.44 kg(1.8~5.2

kg)、磷(P₂O₅)0.91 kg(0.7~1.4 kg)、钾(K₂O)2.87 kg(2.2~6.0 kg)。棉花NPK处理每形成100 kg籽棉分别需要氮(N)5.37 kg(4.3~7.1 kg)、磷(P₂O₅)1.67 kg(1.1~2.2 kg)、钾(K₂O)4.36 kg(2.5~6.8 kg)。

2.3 南疆地区玉米、棉花的化肥利用效率

玉米氮、磷、钾肥的平均农学效率分别为13.0、13.3和10.7 kg/kg;棉花氮、磷、钾肥的平均农学效率分别为6.1、7.6和7.5 kg/kg,各试验点间棉花钾肥农学效率相对偏差变化较大。2种作物相比,玉米氮、磷、钾肥农学效率比棉花相对稳定(表4)。

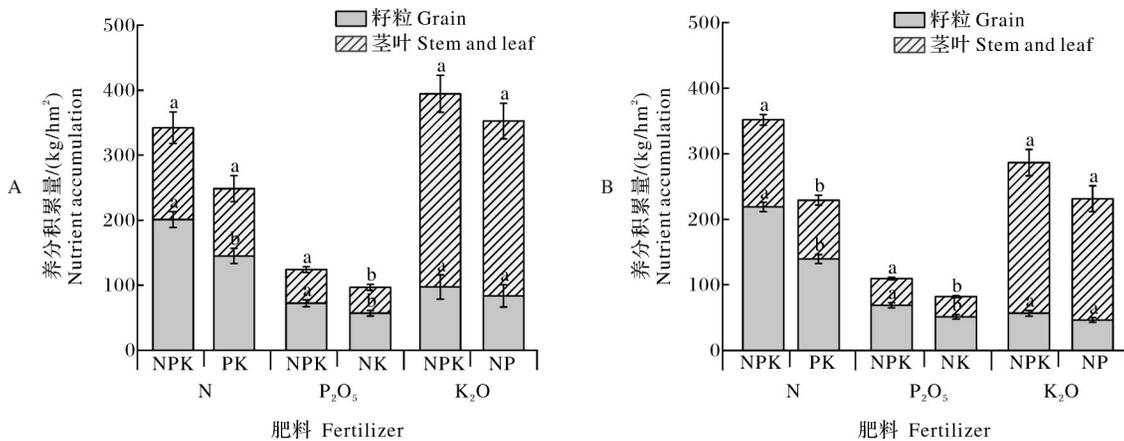
玉米和棉花各试验点氮肥利用率都相对稳定,



玉米($n=16$),棉花($n=19$),下同。实线和虚线分别代表均值和中值,方框上下边缘分别代表上下25%,上下帽子分别代表95%和5%的数,上下实心圆分别代表最大值和最小值,柱子上不同字母表示各组之间差异显著($P<0.05$)。Maize($n=16$),cotton($n=19$),the same as below.The solid and dashed lines indicate median and mean ,respectively. The box boundaries indicate the upper and lower quartiles, the whisker caps indicate 95th and 5th percentiles, the circles indicate maximum and minimum, different letters above the bars mean significant difference in the treatments($P<0.05$).

图1 南疆地区NPK处理下玉米(A)和棉花(B)的产量

Fig.1 Yield of maize(A) and cotton(B) under the NPK treatments in Southern Xinjiang



同一部位不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。Different lowercase letters at the same site mean significant difference($P<0.05$).

图2 南疆地区不同处理下玉米(A)和棉花(B)的氮、磷、钾素积累量

Fig.2 Uptake of N, P and K of maize(A) and cotton(B) with different fertilizer treatments in Southern Xinjiang

相对偏差值分别为6.8%和6.5%;而玉米和棉花各试验点磷、钾肥的利用率差异较大,相对偏差分别为22.2%、11.6%和18.5%、11.9%。2种作物相比,玉米的氮、磷肥利用率高于棉花,而棉花的钾肥利用率高于玉米(表5)。

2.4 南疆地区土壤肥力及施肥量对玉米、棉花肥料利用效率的影响

对玉米和棉花肥料利用效率与施用量及土壤理化性状进行相关性分析发现(表6),玉米氮肥利用率

表4 南疆地区玉米和棉花 NPK 处理氮、磷、钾肥农学效率描述统计

Table 4 Agronomic efficiency of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer applied to

NPK treatment of maize and cotton in Southern Xinjiang

作物 Crops	指标 Indicators	kg/kg						
		最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 SD	25%分位数 25Q	50%分位数 50Q	75%分位数 75Q
玉米 Maize ($n=16$)	N	8.2	24.4	13.0a	5.0	9.4	11.0	16.0
	P	6.6	16.9	13.3a	3.0	10.9	14.5	15.4
	K	5.7	15.7	10.7a	3.4	6.7	11.1	13.5
棉花 Cotton ($n=19$)	N	3.2	9.7	6.1a	3.1	4.3	5.6	7.7
	P	3.9	13.8	7.6a	3.9	5.8	6.6	9.8
	K	0.7	21.2	7.5a	5.8	3.9	5.6	7.8

表5 新疆地区NPK处理下玉米和棉花的氮、磷、钾肥利用率描述统计
Table 5 Fertilizer use efficiency of applied N, P₂O₅ and K₂O of NPK treatment for maize and cotton in Southern Xinjiang

作物 Crops	指标 Indicators	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Mean	标准差 SD	25%分位数 25Q	50%分位数 50Q	75%分位数 75Q
玉米 Maize (n=16)	N	36.8	46.7	42.4b	2.9	39.9	42.9	45.0
	P	11.8	26.8	21.2c	4.7	18.0	24.3	24.6
	K	44.5	70.1	54.1a	6.3	51.3	52.9	55.8
棉花 Cotton (n=19)	N	35.9	44.9	41.7b	2.7	37.9	40.8	42.0
	P	11.3	24.6	18.9c	3.5	17.7	19.1	21.6
	K	39.1	69.2	58.2a	6.9	55.1	59.5	62.8

表6 新疆地区玉米和棉花肥料利用效率与施用量及土壤理化性状的相关性
Table 6 Correlation of fertilizer use efficiency with application rate and soil physico-chemical properties in maize and cotton in Southern Xinjiang

作物 Crops	相关性系数 Correlation coefficient	pH	有机质 OM	碱解氮 Alkaline nitrogen	有效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	施氮量 N application	施磷量 P ₂ O ₅ application	施钾量 K ₂ O application
玉米 Maize (n=16)	氮肥利用率 Nitrogen use efficiency	-0.735**	-0.402	0.530*	0.248	0.331	-0.064	/	/
	磷肥利用率 Phosphorus use efficiency	-0.703**	-0.318	0.363	0.408	0.508*	/	-0.844**	
	钾肥利用率 Potassium use efficiency	0.571*	0.373	-0.192	-0.555**	-0.097	/	/	-0.154
棉花 Cotton (n=19)	产量 Yield	-0.175	-0.314	0.44	0.625**	0.398	-0.134	-0.710**	-0.171
	氮肥利用率 Nitrogen use efficiency	0.111	-0.082	-0.421	-0.165	0.064	-0.43	/	/
	磷肥利用率 Phosphorus use efficiency	-0.223	-0.482*	-0.016	-0.399	0.035	/	-0.578**	/
	钾肥利用率 Potassium use efficiency	0.256	-0.233	-0.377	-0.530*	-0.218	/	/	-0.659**
	产量 Yield	-0.698**	-0.27	0.095	0.043	0.142	0.538**	-0.061	0.492*

注: **表示差异极显著($P < 0.01$), *表示差异显著($P < 0.05$)。Note: **Indicates extremely significant correlation($P < 0.05$), * indicates significant correlation($P < 0.05$).

与土壤pH呈极显著负相关,与土壤碱解氮呈显著正相关;玉米磷肥利用率与土壤pH和磷肥施用量均呈极显著负相关,与土壤速效钾含量呈显著正相关;玉米钾肥利用效率与土壤pH含量呈显著正相关,与土壤有效磷含量呈显著负相关。进一步分析显示,玉米产量与土壤有效磷含量呈极显著正相关,与磷肥施用量呈极显著负相关,与其他指标的相关性均未达到显著水平。棉花氮肥利用率与土壤pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量及施氮量相关性均未达到显著水平;磷肥利用率与土壤有机质含量呈显著负相关,与磷肥施用量呈极显著负相关。棉花钾肥利用率与土壤有效磷含量和施钾量均呈显著负相关。另外,棉花产量与土壤pH呈极显著负相关,与氮肥施用量呈极显著正相关,与钾肥施用量呈显著

正相关,与磷肥施用量及其他土壤肥力指标相关性不大。

3 讨论

3.1 新疆地区玉米、棉花的产量及养分吸收

在NPK施肥条件下,新疆地区玉米、棉花的产量分别为14 020.3、6 582.7 kg/hm²,与其他学者的试验结果基本一致^[10-11]。在测土配方施肥项目实施初期,新疆地区玉米、棉花产量分别为10 493.6和4 909.8 kg/hm²^[12],相比之下,本研究产量分别提高了33.6%、34.1%,较以往有大幅提升。氮磷钾是植物生长必需的营养元素,其中氮素是营养元素中限制产量的首要因子^[13],肥料的缺失会直接影响养分累积量、作物产量以及肥料利用率,施用氮磷钾营养

元素对于改善植株养分吸收、促进植株体内的养分积累分配和产量形成具有重要作用^[14]。在本研究条件下,施用氮磷肥显著提高玉米、棉花产量以及地上部分植株氮磷素积累量。南疆地区玉米和棉花生产中,应进一步加强氮磷钾肥调控,以提高作物产量。

3.2 南疆地区玉米、棉花的化肥利用效率现状

南疆地区玉米NPK处理氮、磷、钾肥平均农学效率分别为13.0、13.3、10.7 kg/kg,这与闫湘等^[15]汇总19个省份玉米氮、磷、钾肥平均农学效率为10.1、9.8、8.1 kg/kg的研究结果相比略高,与汤明尧等^[16]研究得出的全疆玉米氮、磷、钾肥农学效率相比,磷肥农学效率相近,氮、钾肥农学效率相对较低。南疆地区棉花氮、磷、钾肥平均农学效率分别为6.1、7.6、7.5 kg/kg,与李青军等^[17]研究得出的北疆昌吉的棉花氮、磷、钾肥平均农学效率分别为7.0、7.1、10.6 kg/kg相比,磷肥农学效率略高,氮、钾农学效率相对较低;高于全疆棉花氮、磷、钾肥农学效率^[11]。但与Reckling等^[18]研究得到的世界氮肥平均农学效率22 kg/kg相比,仍有很大的提升空间。南疆地区玉米NPK处理的氮、磷、钾肥平均利用率分别为42.4%、21.2%、54.1%,明显高于2017年闫湘等^[15]分析得到的全国玉米氮、磷、钾肥利用率,与全疆的玉米肥料利用率^[16]相比,磷、钾肥略高于全疆平均水平,氮肥低于全疆平均水平。南疆地区棉花NPK处理的氮、磷、钾肥平均利用率分别为41.7%、18.9%、58.2%,与全疆的棉花肥料利用率^[11]相比,氮、磷、钾肥利用率均高于全疆平均水平。南疆地区玉米、棉花的肥料利用率整体处于较高水平,这可能与该地区玉米、棉花大量开展测土配方施肥技术有关^[11],但与李青军等^[17]在新疆膜下滴灌优化施肥条件下的试验结果相比,仍有待提升肥料利用率。

3.3 南疆地区土壤肥力与施肥量对肥料利用率的影响

本研究发 现南疆地区玉米、棉花钾肥利用率和土壤有效磷含量均呈显著负相关。有研究认为,适量增施钾肥可以提高土壤速效磷含量,但施用量过多反而会使土壤速效磷含量降低,其原因可能是钾肥促进植物根系活力,促使土壤磷转化成植物易吸收的速效态,而钾肥施用过多,使得根系吸收过快,土壤磷的转化不及时,从而降低了土壤有效磷的含量^[19]。

施肥是增加农作物产量的重要措施,肥料用量过高或过低,均不利于农作物对养分吸收及产量的

提高。南疆地区玉米磷肥施用量和磷肥利用率呈显著负相关,这与吴晓君等^[20]研究结果一致,即随着施磷量的增加,磷肥利用率显著下降。棉花磷、钾肥施用量与磷、钾肥利用率呈显著负相关,这与其他研究者研究发现的随着施肥量不断投入会出现肥料利用率降低的趋势^[21]结论一致;玉米产量与磷肥施用量呈显著负相关,与土壤有效磷含量呈显著正相关。这可能是由于土壤养分输入量超过农作物的需求量从而导致土壤有机质、有效磷和速效钾等肥力指标逐渐升高,农作物产量对肥料养分的响应日趋迟钝,肥料利用率逐渐降低^[22]。同时,也说明南疆地区玉米可能存在一定的过量施用磷肥问题。棉花产量和氮肥施用量呈极显著正相关,与钾肥施用量呈显著正相关,与磷肥施用量及其他土壤肥力指标相关性不大,这与棉花对氮肥与钾肥需求量大,对磷肥需求量小有关^[23]。

土壤pH会直接影响土壤的物理性质,过高或过低都会影响土壤中各种养分元素的存在形态及养分之间的转化,并对植物的生长发育有着重要影响。南疆地区玉米氮、磷肥利用率和棉花产量与土壤pH均呈显著负相关。土壤盐碱化是影响南疆地区棉花产量和玉米氮、磷肥利用率提高的主要限制因子之一,应结合南疆滴灌技术的普及,进一步优化施肥,加大盐碱耕地治理,提高肥料利用率。

参考文献 References

- [1] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021: 330. Statistic Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region. Xinjiang statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2021: 330 (in Chinese).
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021: 399. National Bureau of Statistics. China statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2021: 399 (in Chinese).
- [3] 朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259-273. ZHU Z L, JIN J Y. Fertilizer use and food security in China [J]. Plant nutrition and fertilizer science, 2013, 19(2): 259-273 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王姣琳, 黄晓萌, 王博博, 等. 长江流域中稻施肥增产效应及其影响因素[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(2): 105-114. WANG J L, HUANG X M, WANG B B, et al. Effects of fertilization on the yield of mid-season rice in the Yangtze River Basin and its influencing factors [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(2): 105-114 (in Chinese with English abstract).
- [5] 哈丽哈什·依巴提, 张炎, 李青军, 等. 施肥对棉花养分吸收、分配、利用和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(2): 61-66.

- YIBATI H, ZHANG Y, LI Q J, et al. Effects of fertilization on nutrient uptake, distribution, utilization and yield of cotton [J]. *Soil and fertilizer in China*, 2018 (2): 61-66 (in Chinese with English abstract).
- [6] 梁涛, 廖敦秀, 陈新平, 等. 重庆稻田基础地力水平对水稻养分利用效率的影响[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(16): 3106-3116. LIANG T, LIAO D X, CHEN X P, et al. Effect of paddy inherent soil productivity on nutrient utilization efficiency of rice in Chongqing [J]. *Scientia agricultura sinica*, 2018, 51(16): 3106-3116 (in Chinese with English abstract).
- [7] 杨小梅, 刘树伟, 秦艳梅, 等. 中国玉米化学氮肥利用率的时空变异特征[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(10): 1184-1192. YANG X M, LIU S W, QIN Y M, et al. Spatio-temporal distribution characteristics of synthetic nitrogen fertilizer use efficiency in maize fields in China [J]. *Chinese journal of eco-agriculture*, 2013, 21(10): 1184-1192 (in Chinese with English abstract).
- [8] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998. National Soil Survey Office. *Chinese soil* [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1998 (in Chinese).
- [9] 郑琦, 王海江, 吕新, 等. 新疆棉田土壤质量综合评价方法[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(4): 1291-1301. ZHENG Q, WANG H J, LÜ X, et al. Comprehensive method for evaluating soil quality in cotton fields in Xinjiang, China [J]. *Chinese journal of applied ecology*, 2018, 29(4): 1291-1301.
- [10] 李青军, 张炎, 胡伟, 等. 滴灌磷钾肥基追比对滴灌玉米干物质积累、产量及养分吸收的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2016(6): 74-80. LI Q J, ZHANG Y, HU W, et al. Effects of base to dressing ratios of drip phosphorus and potassium on dry matter accumulation, yield and nutrient uptake of maize under drip irrigation [J]. *Soil and fertilizer sciences in China*, 2016(6): 74-80 (in Chinese with English abstract).
- [11] 汤明尧, 沈重阳, 张炎, 等. 新疆棉花化肥利用效率研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(4): 161-168. TANG M Y, SHEN C Y, ZHANG Y, et al. A Study on fertilizer utilization efficiency of cotton in Xinjiang [J]. *Soil and fertilizer sciences in China*, 2022(4): 161-168 (in Chinese with English abstract).
- [12] 赖波, 汤明尧, 柴仲平, 等. 新疆农田化肥施用现状调查与评价[J]. *干旱区研究*, 2014, 31(6): 1024-1030. LAI B, TANG M Y, CHAI Z P, et al. Investigation and evaluation of the chemical fertilizer application situation of farmland in Xinjiang [J]. *Arid zone research*, 2014, 31(6): 1024-1030 (in Chinese with English abstract).
- [13] 胡富亮, 郭德林, 高杰, 等. 种植密度对春玉米干物质、氮素积累与转运及产量的影响[J]. *西北农业学报*, 2013, 22(6): 60-66. HU F L, GUO D L, GAO J, et al. Effects of planting density on dry matter, nitrogen accumulation and transport and yield of spring maize [J]. *Northwest journal of agriculture*, 2013, 22(6): 60-66 (in Chinese with English abstract).
- [14] 刘恩科, 赵秉强, 胡昌浩, 等. 长期不同施肥制度对玉米产量和品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(5): 711-716. LIU E K, ZHAO B Q, HU C H, et al. Effects of long-term fertilization systems on yield and quality of maize [J]. *Scientia agricultura sinica*, 2004, 37(5): 711-716 (in Chinese with English abstract).
- [15] 闫湘, 金继运, 梁鸣早. 我国主要粮食作物化肥增产效应与肥料利用效率[J]. *土壤*, 2017, 49(6): 1067-1077. YAN X, JIN J Y, LIANG M Z. Fertilizer use efficiencies and yield-increasing rates of grain crops in China [J]. *Soils*, 2017, 49(6): 1067-1077 (in Chinese with English abstract).
- [16] 汤明尧, 沈重阳, 陈署晃, 等. 新疆小麦、玉米的产量和氮磷钾肥利用效率[J]. *中国农业科学*, 2022, 55(14): 2762-2774. TANG M Y, SHEN C Y, CHEN S H, et al. Yield of wheat and maize and utilization efficiency of nitrogen, phosphorus and potassium in Xinjiang [J]. *Scientia agricultura sinica*, 2022, 55(14): 2762-2774 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李青军, 张炎, 王金鑫, 等. 施肥方式对滴灌棉花干物质积累、养分吸收和产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2015, 52(7): 1292-1298. LI Q J, ZHANG Y, WANG J X, et al. Effects of fertilization on dry matter accumulation, nutrient uptake and yield of cotton under drip irrigation [J]. *Xinjiang agricultural sciences*, 2015, 52(7): 1292-1298 (in Chinese with English abstract).
- [18] RECKLING M, HECKER J M, BERGKVIST G, et al. A cropping system assessment framework: evaluating effects of introducing legumes into crop rotations [J]. *European journal of agronomy*, 2016, 76: 186-197.
- [19] 曾德武, 刘强, 彭建伟, 等. 不同稻田土壤钾素丰缺水平下施用钾肥的效应及对土壤肥力的影响[J]. *湖南农业科学*, 2012(3): 37-40. ZENG D W, LIU Q, PENG J W, et al. Effects of applying potassium fertilizer to paddy soil with different levels of potassium and impact of applying potassium fertilizer on soil fertility [J]. *Hunan agricultural science*, 2012(3): 37-40 (in Chinese with English abstract).
- [20] 吴晓君, 曾子鑫, 郭佩佩, 等. 磷肥用量和石灰对甜玉米产量和磷素吸收利用的影响[J]. *热带作物学报*, 2023, 44(1): 133-142. WU X J, ZENG Z X, GUO P P, et al. Effect of phosphorus fertilizer dosage and lime on yield and phosphorus uptake and utilization in sweet corn [J]. *Journal of tropical crops*, 2023, 44(1): 133-142 (in Chinese with English abstract).
- [21] 刘小虎, 邢岩, 赵斌, 等. 施肥量与肥料利用率关系研究与应用[J]. *土壤通报*, 2012, 43(1): 131-135. LIU X H, XING Y, ZHAO B, et al. Study on relation between fertilizer dosage and its recovery efficiency and their application [J]. *Chinese journal of soil science*, 2012, 43(1): 131-135 (in Chinese with English abstract).
- [22] 刘建玲, 贾可, 廖文华, 等. 太行山山麓平原30年间土壤养分与供肥能力变化[J]. *土壤学报*, 2015, 52(6): 1325-1335. LIU J L, JIA K, LIAO W H, et al. Changes of soil nutrients and supply capacities in the piedmont plain of Taihang Mountain during the period of 1978-2008 [J]. *Acta pedologica sinica*, 2015, 52(6): 1325-1335 (in Chinese with English abstract).
- [23] 汪洋. 棉花平衡施肥技术[J]. *河北农业科学*, 2007, 64(4): 15, 17. WANG Y. Balanced fertilization technology for cotton [J]. *Hebei agricultural science*, 2007, 64(4): 15, 17 (in Chinese).

Utilization efficiency and influencing factors of N, P and K fertilizers for maize and cotton in the Southern Xinjiang region

GONG Jinbo^{1,2}, SHENG Jiandong¹, TANG Mingyao², FU Guohai³, TANG Guangmu⁴, YAN Cuixia²

1.College of Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;
2.Xinjiang Soil and Fertilizer Station, Urumqi 830009, China; 3.National Agricultural Technology Extension Service Center, Beijing 100125, China; 4.Institute of Soil Fertilizer and Agricultural Water Saving, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China

Abstract In 2021, 35 field experiments on the utilization efficiency of fertilizer (16 for maize and 19 for cotton) were conducted in the Southern Xinjiang region to study the effect of fertilization and the relationship between soil fertility and utilization efficiency of fertilizer in the Southern Xinjiang region. The nutrient deficiency treatments (NP, PK, NK) and full fertilizer treatment (NPK) were set up. The yield response, agronomic efficiency, nutrient accumulation pattern, soil fertility and the effect of fertilization on utilization efficiency of fertilizer for maize and cotton were studied respectively. Results showed that the average yield of maize and cotton treated with NPK was 14 020.3 kg/hm² and 6 582.7 kg/hm², respectively. The average agronomic efficiency of N, P₂O₅, K₂O was 13.0 kg/kg, 13.3 kg/kg, 10.7 kg/kg, and 6.1 kg/kg, 7.6 kg/kg, and 7.5 kg/kg, respectively. The average utilization efficiency of N, P and K fertilizers for maize and cotton was 42.4%, 21.2%, 54.1% and 41.7%, 18.9%, 58.2%, respectively. The application of N, P and K fertilizers increased yield of maize and cotton by 30.6%, 14.7%, 6.5% and 41.5%, 21.1%, 13.4%, respectively. Fertilizer application significantly improved the uptake of N, P and K by maize and cotton. 2.44 kg N, 0.91 kg P₂O₅, and 2.87 kg K₂O were required for every 100 kg maize kernels. 5.37 kg N, 1.67 kg P₂O₅, and 4.36 kg K₂O were required for every 100 kg cotton seed. The utilization efficiency of phosphorus fertilizer in maize was significantly and negatively correlated with the application of phosphorus fertilizer, and the utilization efficiency of phosphorus and potassium fertilizer in cotton was significantly and negatively correlated with the application of phosphorus and potassium fertilizer as well. Maize yield was negatively correlated with the application of phosphorus fertilizer and positively correlated with the content of effective phosphorus in soil, indicating that there may be a certain problem of excessive application of phosphorus fertilizer in maize in the Southern Xinjiang region. The utilization efficiency of potassium fertilizer in maize and cotton was significantly negatively correlated with the content of effective phosphorus in soil. There was a significant negative correlation between soil pH, cotton yield, and the utilization efficiency of nitrogen and phosphorus fertilizer in maize. It is indicated that soil salinity and alkalinity in the Southern Xinjiang region are one of the main limiting factors affecting cotton yield and the improvement of utilization efficiency of nitrogen and phosphorus fertilizer in maize. In the future, it is necessary to further optimize fertilization, increase the management of saline and alkali farmland, and improve utilization efficiency of fertilizer in combination with the popularization of drip irrigation technology in the Southern Xinjiang region.

Keywords soil fertility; maize; cotton; utilization efficiency of fertilizer; management of saline and alkali farmland; Southern Xinjiang

(责任编辑:赵琳琳)