

施磷对南疆棉花养分利用和经济效益的影响

张 宏¹, 王爱莲¹, 曾 雄^{1*}, 哈丽哈什·依巴提^{2, 3}, 李青军^{2, 3}, 张 炎^{2, 3*}

(1. 阿瓦提县农业技术推广中心, 新疆 阿瓦提 843200; 2. 新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091; 3. 农业农村部荒漠绿洲作物生理生态与耕作重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘 要: 研究覆膜滴灌条件下, 施磷量对棉花产量、养分吸收和磷素利用的影响, 为棉花生产合理施磷提供科学依据。试验于 2017 ~ 2019 年在新疆阿瓦提县进行, 设 5 个施磷水平, 于棉花吐絮期采集植株样品, 测定棉花产量、生物量、养分吸收和磷素利用。当施磷量为 0 ~ 130 kg · hm⁻² 时, 棉花产量、生物量和产值随着施磷量的增加显著增加, 棉花对氮、磷、钾的吸收也显著增加, 当施磷量大于 130 kg · hm⁻² 时影响不显著。棉花磷素农学效率和贡献率随着施磷量的增加呈先增后减的趋势, 磷素利用率和偏生产力呈递减的趋势, 当施磷量为 130 kg · hm⁻² 时, 磷素农学效率和贡献率达最高。利用回归分析得出, 棉花最高产量的施磷量和最佳经济施磷量分别为 141.21 和 130.19 kg · hm⁻², 对应的产量分别为 6562.19 和 6558.22 kg · hm⁻², 采用经济施磷量可实现在棉花不减产的情况下 (最高产量的 99.94%) 节约磷肥 7.81%。综合考虑棉花的产量、经济效益、养分吸收和磷素利用, 南疆棉区推荐经济施磷量为 130.19 kg · hm⁻²。

关键词: 棉花; 施磷量; 产量; 养分吸收; 磷素利用

新疆棉花总产量占全国的 87.3%, 棉花生产对当地的经济和社会发展有着深刻的影响^[1]。化肥在提高作物产量, 改善民生中发挥了不可替代的重要作用。合理施用化肥, 在提高棉花产量、稳固并提升棉产业经济的基础上提高肥料利用率, 对新疆棉产业的可持续发展具有重要意义。

磷是植物生长发育必需的大量元素之一^[2], 是植物体内许多重要化合物的组分, 且以多种途径参与植物体内的各种代谢过程, 影响植物的生长发育^[3]。磷素的缺乏常常成为限制作物产量、延长作物生育期、增加冻害几率的重要因素^[4]。有研究表明, 磷肥能够提高棉花产量, 有助于优化棉纤维品质^[5-6], 促进棉花各器官对氮、

磷、钾养分的吸收^[7]。翟勇等^[8]研究发现, 在增加施磷水平的同时增加生物质炭用量有助于棉花生长, 提高棉花对氮、磷、钾养分的吸收。不同施磷水平对棉花根、茎、叶及整株干物质的积累量和磷吸收量有显著影响^[9], 郭濛濛等^[10]以晒红烟品种大叶黄为材料研究发现, N : P₂O₅ 在 1 : (0.5 ~ 1.0) 内增施磷肥能增强转化酶 (INV) 的活性, 晒后烟叶的化学成分在中氮中磷高钾处理下较协调。张炎等^[11]研究发现, 施磷可以增加棉花对磷的吸收和积累, 合理施磷可显著增加棉花产量, 陆地棉磷的农学效率、表观利用率和偏生产力高于海岛棉, 对磷肥的吸收能力也较强。

新疆农田磷肥用量由 1979 年的 8.3 kg · hm⁻² 增加到 2012 年的 95.5 kg · hm⁻², 并以 7.7% 的递增率逐年上升, 而磷肥的偏生产力以 1.8% 的递减率逐年降低^[12]。新疆棉田磷肥利用率低主要是由土壤本身特征和施肥不当导致的^[13]。同时, 磷肥施用方式对棉花的磷肥利用及土壤磷素平衡有重要影响^[14]。因栽培品种、气候条件及土壤肥力不同, 不同棉区棉花的适宜施磷量差异较大^[11, 15-17]。合理施磷条件下, 可增加棉花产量, 促进根系对氮、磷、钾养分的吸收^[18]。合理的氮、磷肥配施提高了土壤有效磷含量和磷素养分利用效率, 氮、磷和

收稿日期: 2021-10-23; 录用日期: 2021-12-20

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0201900, 2016YFD0200102); 农业农村部荒漠绿洲作物生理生态与耕作重点实验室开放课题 (25107020-202104); 自治区人才发展 (天山英才) 专项资金 (2021)。

作者简介: 张宏 (1989-), 高级农艺师, 硕士, 研究方向为新型肥料与现代施肥技术。E-mail: 452991710@qq.com。

通讯作者: 张炎, E-mail: yanzhangxj@163.com; 曾雄, E-mail: 461610823@qq.com。

钾肥的合理配施有利于产量的形成和肥料利用率的提高^[19]。因此,研究在覆膜滴灌条件下,不同施磷量对南疆陆地棉产量、养分吸收及磷素利用的影响,获得棉花养分吸收系数、磷素利用率和磷肥最佳经济施用量等参数,为南疆棉花科学施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验于2017~2019年在新疆阿瓦提县农业技术推广站试验田进行(40°38'58.46"N, 80°23'29.78"E),为温带大陆性荒漠气候,多晴少雨,年平均日照时数2570~2780 h,年平均气温10.4~11.0℃,全年≥10℃积温达

4024~4248℃,年降水量为45.7 mm,年蒸发量1887 mm,无霜期205~211 d。土壤质地为壤土,灌溉方式为滴灌,前茬作物为棉花。

试验供试棉花品种为新陆中65号,采用膜下滴灌种植,1膜6行,种植模式选择试验期当地的主要模式。2017年4月5日播种,株距11 cm,播幅内宽、窄行距配置为50 cm+20 cm,理论株数187000株·hm⁻²;2018年3月27日播种,株距10.5 cm,播幅内宽、窄行距配置为66 cm+10 cm,理论株数180900株·hm⁻²;2019年4月1日播种,株距10.5 cm,播幅内宽、窄行距配置为66 cm+10 cm,理论株数180900株·hm⁻²。供试肥料:尿素(N 46%)、三料磷肥(P₂O₅ 46%)、硫酸钾(K₂O 30%)。供试土壤基本农化性状见表1。

表1 供试土壤基本农化性状

pH	有机质 (g·kg ⁻¹)	全氮 (g·kg ⁻¹)	全磷 (g·kg ⁻¹)	全钾 (g·kg ⁻¹)	碱解氮 (mg·kg ⁻¹)	有效磷 (mg·kg ⁻¹)	速效钾 (mg·kg ⁻¹)
8.65	17.04	0.31	0.83	8.46	41	43.2	149

1.2 试验设计

试验设5个施磷处理,重复3次,小区面积33 m²,施磷量根据前一年的试验结果进行适当调整,便于较为全面准确掌握供试棉田施磷量。2017年P0、P1、P2、P3、P4处理施磷量分别为0、65、130、195、260 kg·hm⁻²,2018年P0、P1、P2、P3、P4处理施磷量分别为0、57.5、115、172.5、230 kg·hm⁻²,2019年P0、P1、P2、P3、P4处理施磷量分别为0、40、80、120、160 kg·hm⁻²。各处理氮肥总用量为N 220 kg·hm⁻²,因2018年雨水较多,滴灌次数减少,30%氮肥未施入土壤,即施氮量为154 kg·hm⁻²。钾(K₂O)肥总用量2017年为60 kg·hm⁻²,2018年为110 kg·hm⁻²,2019年为90 kg·hm⁻²。磷肥和钾肥作为基肥一次性施入,氮肥作为追肥在棉花蕾期至盛铃期随水滴施,其中,2017年以5月13日10%、6月14日20%、6月30日25%、7月29日25%、8月15日10%及8月24日10%的比例追施;2018年以6月23日14%、7月8日29%、7月23日43%及8月17日14%的比例追施;2019年以6月18日25%、7月9日30%、7月23日25%、8月4日10%及8月20日10%的比例追施。

1.3 测定项目与方法

土壤样品:在试验开展前,多点采集试验地

0~20 cm耕层土壤,测定土壤基本农化性状。土壤pH、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷和速效钾分别采用pH计法、重铬酸钾法、微量凯氏定氮法、HClO₄-H₂SO₄-钼锑抗比色法、NaOH熔融火焰光度法、碱解扩散法、钼锑抗比色法和醋酸铵-火焰光度法测定。

棉株生物量:在棉花吐絮期,每个小区随机选取有代表性的棉株3株,于105℃杀青后,70℃烘干,测定生物量。

植株养分:将吐絮期采集的棉株样品分为茎+叶+壳、棉纤维、棉籽,分别杀青、烘干、称重、粉碎制样。植株样用H₂SO₄-H₂O₂消煮、全氮采用奈氏比色法、全磷采用钼锑抗比色法、全钾采用火焰光度法进行测定。

棉花产量:棉花吐絮期在各小区调查6.67 m²内的棉花株数、铃数及单株铃数,并在每个小区定点分3次采收上、中、下部30、40、30朵完全吐絮铃,测定单铃重和衣分,计算棉花产量。

1.4 数据处理及分析

1.4.1 磷素利用率

磷素农学效率(kg·kg⁻¹)=(Y-Y0)/F^[20]

磷素偏生产力(kg·kg⁻¹)=Y/F^[20]

磷素利用率(%)=(P-P0)/F×100^[20]

磷素贡献率(%)=(Y-Y0)/Y×100^[21]

式中, Y 和 Y0 分别为施磷处理和不施磷处理获得的籽棉产量, P 和 P0 分别为施磷处理和不施磷处理地上部总吸磷量, F 为施磷量。

1.4.2 养分吸收量^[22]

养分吸收量 = 植株干重 × 植株养分含量

图表利用 Origin 2018、WPS 2019 制作, 试验数据采用方差分析 2013 (中文版软件) 进行分析, 多重比较采用 LSD 法 ($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 施磷对棉花产量及经济效益的影响

由表 2 可知, 施磷处理棉花产量显著高于不施磷处理, 产量增幅为 1.28% ~ 17.05%。2017 年, P2 处理产量最高, 分别较 P0、P1、P3 和 P4 处理显著增加, 幅度分别为 17.05%、9.58%、15.57% 和 14.05%。处理间棉花产值、纯收益与产量呈相同趋势。P2 处理纯收益最高, 为 34197.05 元 · hm⁻²,

分别较 P0、P1、P3 和 P4 处理显著增加, 幅度分别为 17.52%、10.07%、20.05% 和 19.60%。P3 处理棉花地上部生物量最高, 分别较 P0、P1 和 P4 处理显著增加 10.85%、5.49% 和 4.15%, 与 P2 处理差异不显著。2018 年, P2 处理产量最高, 分别较 P0 和 P1 处理显著增加 8.68% 和 4.55%, 与 P3 和 P4 处理差异不显著。P2 处理纯收益最高, 为 31724.45 元 · hm⁻², 较 P0 和 P1 处理分别显著增加 8.07% 和 4.35%, 与 P3 和 P4 处理差异不显著。P2 处理生物量最大, 较 P0 处理显著增加 24.33%, 各施肥处理间生物量差异不显著。2019 年, P2 处理产量最高, 较 P0 处理显著增加 14.11%, 各施肥处理间产量差异不显著。各处理间纯收益呈现的规律与产量一致, P2 处理纯收益为 31560.96 元 · hm⁻², 较 P0 处理显著增加 15.12%, 施肥处理间差异不显著。P3 处理生物量最高, 较 P0 和 P1 处理显著增加 15.42% 和 7.93%, 但与 P2 和 P4 处理差异不显著。

表 2 不同施磷量对棉花产量及经济效益的影响

年份	处理	产量 (kg · hm ⁻²)	生物量 (kg · hm ⁻²)	产值 (元 · hm ⁻²)	肥料成本 (元 · hm ⁻²)	其他支出 (元 · hm ⁻²)	纯收益 (元 · hm ⁻²)
2017	P0	5965c	16319c	44734c	1148	14486c	29100c
	P1	6371b	17148b	49376b	1498	15218b	31067b
	P2	6982a	17983a	52363a	1849	16317a	34197a
	P3	6041c	18090a	45308c	2199	14624c	28485c
	P4	6121c	17370b	45910c	2549	14769c	28593c
2018	P0	6046c	12938b	45343c	1356	14632c	29354c
	P1	6284b	15912a	47130b	1666	15061b	30403bc
	P2	6570a	16086a	49277a	1976	15577a	31724a
	P3	6509a	15937a	48817a	2286	15466a	31064ab
	P4	6553a	15629a	49146a	2596	15545a	31005ab
2019	P0	5691b	15215c	42682b	1273	13994b	27415b
	P1	6220a	16271b	46647a	1489	14945a	30213a
	P2	6494a	17306a	48704a	1704	15439a	31561a
	P3	6485a	17561a	48636a	1920	15423a	31294a
	P4	6384a	17150a	47876a	2135	15240a	30501a

注: 均价籽棉 7.5 元 · kg⁻¹, N: 4.08 元 · kg⁻¹, P₂O₅: 5.39 元 · kg⁻¹, K₂O: 4.17 元 · kg⁻¹; 其他支出指人工费和机械费; 不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.2 棉花的磷肥效益

根据施磷量 and 对应籽棉产量用一元二次回归方程拟合出磷肥的效应方程:

$y=-0.0326x^2+9.2071x+5912.1$ ($R^2=0.4704^{**}$,

$n=45$, 式中 y 表示籽棉产量, x 表示 P₂O₅ 施用量)。由磷肥的效应方程求得最高产量施磷量为 141.21 kg · hm⁻², 最高产量为 6562.19 kg · hm⁻²。结合当地棉花和磷肥 (P₂O₅) 价格, 求得棉花最佳经济

施磷量为 $130.19 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，经济产量为 $6558.22 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。与最高产量施磷量相比，采用经济施磷量可实现在棉花不减产的情况下（最高产量的 99.94%）节约磷肥 7.81%。

2.3 不同施磷量对棉花养分吸收的影响

2.3.1 不同施磷量对棉花氮吸收的影响

由图 1 可知，施磷显著提高棉花对氮的吸收，随着施磷量的增加，棉花地上部吸氮量呈先增后减的趋势。2017 年，P2 处理棉花地上部吸氮量分别较 P0、P1 和 P4 处理显著增加 34.22%、27.45% 和 19.22%，但与 P3 处理差异不显著。2018 年，与 P0 处理相比，P1、P2、P3 和 P4 处理吸氮量分别显著增加 27.79%、32.43%、40.15% 和 27.81%。2019 年，P3 处理棉花地上部吸氮量最高，分别较 P0、P1、P2 和 P4 处理显著增加 34.69%、22.90%、6.56% 和 4.45%。

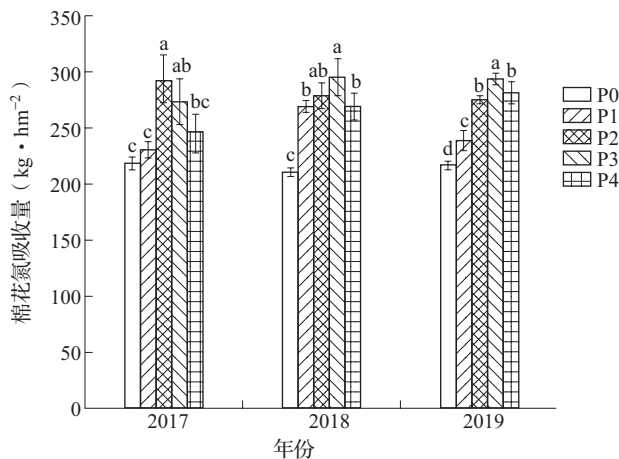


图 1 施磷量对棉花氮吸收的影响

2.3.2 不同施磷量对棉花磷吸收的影响

由图 2 可知，棉花地上部吸磷量随着施磷量的增加呈先增后减的趋势。2017 年，P3 处理吸磷量最高，其次为 P2 处理，分别较 P0 处理显著增加 25.48% 和 22.62%，但二者吸磷量差异不显著。2018 年，P2 处理吸磷量最高，分别较 P0、P1 和 P4 处理显著增加 41.59%、15.93% 和 15.18%，较 P3 处理增加 5.05%，但差异不显著。2019 年，P3 处理吸磷量最高，分别较 P0、P1、P2 和 P4 处理显著增加 40.76%、21.64%、10.84% 和 17.71%。

2.3.3 不同施磷量对棉花钾吸收的影响

由图 3 可以看出，与不施磷处理相比，施磷各处理棉花吸钾量显著增加。2017 年，P2 处理吸钾量最高，较 P0 处理显著增加 20.84%，施肥处理间

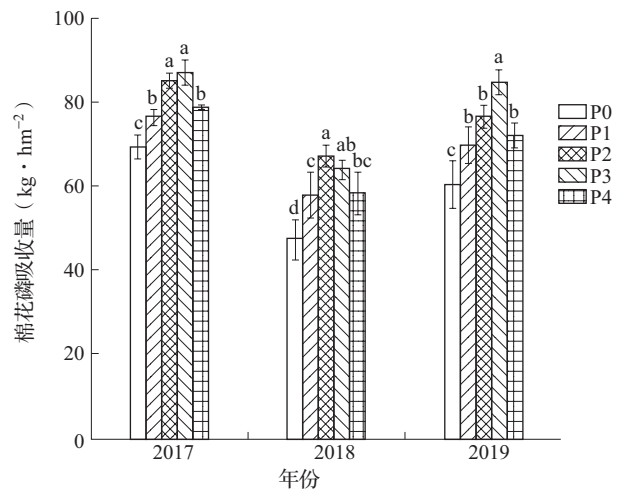


图 2 施磷量对棉花磷吸收的影响

差异不显著。2018 年，随着施磷量的增加，棉花地上部吸钾量基本呈递增的趋势，P1、P2、P3 和 P4 处理较 P0 处理分别显著增加 20.10%、16.55%、20.62% 和 30.12%，但施磷处理间差异不显著。2019 年，棉花地上部吸钾量随着施磷量的增加呈递增的趋势，P4 处理吸钾量最大，分别较 P0、P1 和 P2 处理显著增加 38.08%、23.20% 和 21.12%，P3 处理吸钾量次之，分别较 P0、P1 和 P2 处理显著增加 37.33%、22.53% 和 20.46%，但 P3 和 P4 处理间差异不显著。

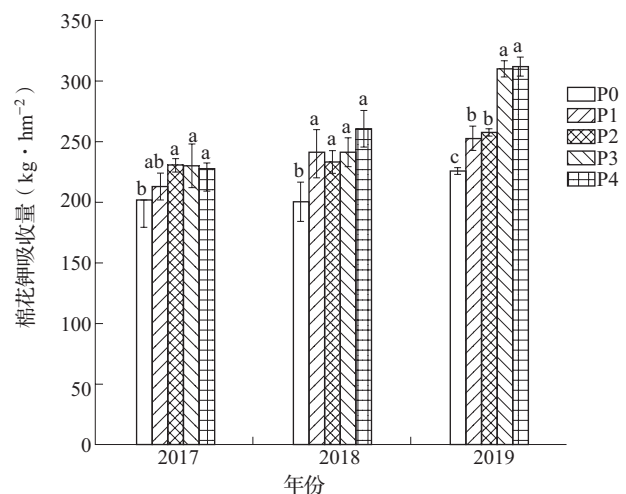


图 3 施磷量对棉花钾吸收的影响

当施磷量为 $130 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时，每形成 100 kg 籽棉需吸收 N 4.23 kg 、 P_2O_5 1.22 kg 、 K_2O 3.30 kg ，籽棉吸收氮、磷、钾的比例为 $3.46 : 1.00 : 2.70$ 。

2.4 不同施磷量对棉花磷素利用效率的影响

由表 3 可知，随着施磷量的增加，磷素农学效

率和贡献率总体呈先增后减的趋势。2017 年, P2 处理农学效率最高, 较 P1 处理增加 25.08%, 差异不显著, 与 P3 和 P4 处理差异显著。P2 处理磷素贡献率最大, P1 处理次之, P2 处理较 P1 处理增加 132.43%。2018 年, 各处理磷素农学效率和贡献率规律与 2017 年一致, P2 处理农学效率较 P1、P3 处理分别增加 10.04%、69.89%, 较 P4 处理显著增加 106.88%; P2 处理磷素贡献率较 P1 处理增加 111.20%, 与 P3 和 P4 处理差异不大。2019 年, P1 处理农学效率最大, P2 处理次之, 二者差异不显著, P1 处理较 P4 处理显著增加 205.35%。P2 处理磷素贡献率最大, 较 P1、P3 和 P4 处理分别增加 45.92%、0.34% 和 13.41%。

随着施磷量的增加, 磷素利用率和偏生产力呈递减趋势(表 3)。2017 年, P2 处理磷素利用率较 P1 处理增加 9.95%, 较 P4 处理显著增加 235.28%。P2 处理偏生产力较 P1 处理显著降低 45.21%, 较 P3 和 P4 处理分别显著增加 73.35% 和 128.11%。2018 年, P2 处理磷素利用率较 P1 处理降低 6.05%, 较 P4 处理显著增加 262.80%。P2 处理偏生产力较 P1 处理显著降低 47.72%, 较 P3 和 P4 处理分别显著增加 51.42% 和 100.53%。2019 年, P1 处理磷素利用率最高, P2 处理次之, 分别较 P4 处理显著增加 553.68% 和 461.27%。P2 处理偏生产力较 P1 处理显著降低 47.80%, 较 P4 处理显著增加 103.46%。

表 3 施肥量对棉花磷素利用率的影响

年份	处理	农学效率 ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	利用率 (%)	贡献率 (%)	偏生产力 ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
2017	P1	6.26a	11.00a	6.24	98.02a
	P2	7.82a	12.10a	14.50	53.71b
	P3	0.39b	9.09a	1.25	30.98c
	P4	0.60b	3.61b	2.55	23.54d
2018	P1	4.14ab	18.31a	3.77	109.29a
	P2	4.56a	17.20a	7.95	57.13b
	P3	2.68ab	9.59ab	7.06	37.73c
	P4	2.20b	4.74b	7.65	28.49d
2019	P1	13.22a	23.73a	8.41	155.49a
	P2	10.04ab	20.38a	12.27	81.17b
	P3	6.30ab	17.53ab	12.23	54.04c
	P4	4.33b	3.63b	10.82	39.90d

3 讨论

不同棉区栽培品种、气候条件、施肥方式及土壤肥力不同, 棉花适宜施磷量不同^[11]。胡国智等^[23]研究表明, 施磷量为 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 棉花产量最高, 相对应的纯收益最大, 施磷量过低或过高都会造成棉花减产, 进而影响收益。当施磷量为 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 杂交棉经济产量和生物产量最高^[24]。本研究表明, 当施磷量为 $0 \sim 130 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 随着施磷量的增加, 棉花产量、生物量和产值显著增加, 当施磷量大于 $130 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 各研究指标增加不显著, 纯收益也随之下降。利用肥料效应函数对施磷量和对应的籽棉产量进行拟合, 进而确定最佳施磷量。回归分析表明, 棉花最高产量施磷量和最佳经济施磷量分别为 141.21 和 130.19

$\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 对应的产量分别为 6562.19 和 6558.22 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 采用经济施磷量可实现在棉花不减产的情况下(最高产量的 99.94%)节约磷肥 7.81%。

作物品种及施磷量不同, 植株对氮、磷、钾的吸收不同。赵靛等^[25]研究表明, 随着施磷量的增加, 玉米植株氮、磷积累量显著增加, 施磷虽对玉米植株磷素养分的分配影响不大, 但可显著促进氮素向籽粒转运, 氮素在籽粒的分配比例显著增加。有研究表明, 适宜的施磷量有利于棉花对氮、磷、钾素养分的积累, 当施磷量为 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 棉花氮、磷、钾养分吸收量最高^[24, 26]。戴婷婷等^[27]研究表明, 合理增施磷肥可以增加棉花对氮、磷、钾素养分的积累, 当施磷量在 $75 \sim 150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 范围内时, 明显促进棉花各器官对氮、磷、钾素养分的积累。张学昕等^[7]研究表明, 氮、磷、钾合理配

施明显增加作物养分吸收量,尤其能增加棉铃中的养分含量,使品质得到改善。本研究表明,当施磷量在 $0 \sim 130 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,随着施磷量的增加,棉花对氮、磷、钾的吸收显著增加,当施磷量超过 $130 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,棉花对氮、磷、钾的吸收增加不显著,说明过量施用磷肥并没有增加棉花对养分的吸收,反而会造成磷肥的损失。

生长环境、施肥方式不同,棉花的养分吸收系数不同。哈丽哈什·依巴提等^[28]研究表明,在养分专家系统的推荐施肥条件下,100 kg 棉花吸收氮、磷、钾量分别为 3.96、1.03、2.52 kg,农户习惯施肥条件下,100 kg 棉花吸收氮、磷、钾量则分别为 4.25、1.14、2.52 kg。张学昕等^[7]研究表明,每生产 100 kg 皮棉,适宜氮、磷、钾的养分吸收量分别为 2.21、0.91、1.41 kg,植株吸收氮、磷、钾养分适宜比例为 2.42 : 1.00 : 1.55。本研究表明,施磷量为 $130 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,每生产 100 kg 籽棉,需吸收 N 4.23 kg、 P_2O_5 1.22 kg、 K_2O 3.30 kg,籽棉吸收氮、磷、钾的比例为 3.46 : 1.00 : 2.70。

韩伟等^[26]研究表明,机采棉主栽模式下棉花磷肥利用率、农学利用率和偏生产力随磷肥施用量的增加而降低,当施磷量为 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时最高。张炎等^[11]研究发现,海岛棉和陆地棉农学利用效率和表观利用率不同,但均随施磷量的增加呈先增后减的趋势,当施磷量为 $140 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,海岛棉磷肥利用率最高,陆地棉最佳施磷量则为 $105 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。顾惠敏等^[29]通过盆栽试验研究发现,不同施磷水平下,不同质地土壤上棉花磷肥表观利用率不同,粘土、壤土、砂土分别在施磷量为 150、300、600 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时达到最大值,粘土棉田施磷量应控制在 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 左右,壤土控制在 $150 \sim 300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,砂土控制在 $300 \sim 600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间。本研究棉花磷素农学效率和贡献率随着施磷量的增加基本呈先增后减的趋势,磷素利用率和偏生产力呈递减的趋势,当施磷量为 $130 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时磷素农学效率和贡献率达到最高。说明适宜的施磷量可促进棉花对磷素的利用,进而提高磷素对棉花产量的贡献率。

4 结论

当施磷量为 $0 \sim 130 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,随着施磷量的增加,棉花产量、生物量、产值和氮、磷、钾养分的吸收显著增加,当施磷量大于 $130 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

时增加不显著。根据磷肥效应方程及棉花、磷肥 (P_2O_5) 价格,棉花最高产量施磷量和最佳经济施磷量分别为 141.21 和 $130.19 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,对应的产量分别为 6562.19 和 6558.22 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。采用经济施磷量可实现在棉花不减产的情况下(最高产量的 99.94%)节约磷肥 7.81%。

当施磷量为 $130 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,生产 100 kg 籽棉,需吸收 N 4.23 kg、 P_2O_5 1.22 kg、 K_2O 3.30 kg,棉花吸收氮、磷、钾的比例为 3.46 : 1.00 : 2.70。

棉花磷素农学效率和贡献率随着施磷量的增加基本呈先增后减的趋势,磷素利用率和偏生产力呈递减的趋势,当施磷量为 $130 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,磷素农学效率和贡献率达到最高。

综合考虑棉花产量、经济效益、养分吸收和磷素利用,南疆棉区推荐经济施磷量为 $130.19 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

参考文献:

- [1] 徐飞鹏,李云开,任树梅. 新疆棉花膜下滴灌技术的应用与发展的思考[J]. 农业工程学报, 2003, 19(1): 25-27.
- [2] 张炎,毛端明,王讲利,等. 新疆棉花平衡施肥技术的发展现状[J]. 中国土壤与肥料, 2003(4): 7-10, 23.
- [3] 李青军,张炎,哈丽哈什·依巴提,等. 膜下滴灌棉花对3种水溶性磷肥的利用效率和产量响应[J]. 棉花学报, 2018, 30(2): 172-179.
- [4] 黄建国. 植物营养学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004. 140-144.
- [5] Girma K Y, Roger K T, Kyle W F. Cotton lint yield and quality as affected by applications of N, P, K fertilizers[J]. J. Cotton Sci., 2007, 11(1): 12-19.
- [6] Steve P N, Charles E S J. Cotton growth, lint yield, and fiber quality as affected by rows pacing and cultivar[J]. J. Cotton Sci., 2004, 8(1): 1-12.
- [7] 张学昕,刘淑英,王平,等. 不同氮磷钾配施对棉花干物质积累、养分吸收及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(8): 107-113.
- [8] 翟勇,苏倩,许文霞,等. 不同施磷水平下生物质炭用量对土壤磷素状况及棉花养分吸收的影响[J]. 土壤通报, 2014, 45(6): 1464-1470.
- [9] 罗佳,候银莹,程军回,等. 低磷胁迫下不同磷效率基因型棉花的根系形态特征[J]. 中国农业科学, 2016, 49(12): 2280-2289.
- [10] 郭濛濛,邱宝平,符云鹏,等. 氮磷钾配施比例对晒红烟碳氮代谢关键酶活性及化学成分的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(5): 95-98.
- [11] 张炎,姚银坤,胡伟,等. 施磷对棉花磷素积累、分配、利用及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(11):

- 2004–2011.
- [12] 陈家杰, 关钰, 王静, 等. 新疆农田施磷量、磷肥效率及磷肥品种长期演变 [J]. 新疆农业科学, 2016, 53 (10): 1858–1866.
- [13] 马丹, 赵库, 沙木和别克·阿咱别克, 等. 磷肥种类和施用方式对新疆棉田磷素利用及棉花产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38 (2): 86–92.
- [14] Ghosh B N, Singh R J, Mishra P K. Soil and Input Management Options for Increasing Nutrient Use Efficiency [M]. New Delhi: Springer India, 2015. 17–27.
- [15] 王海江, 崔静, 侯振安, 等. 膜下滴灌条件下水磷效应对棉花产量和水分利用率的影响 [J]. 石河子大学学报 (自然科学版), 2010, 28 (5): 551–554.
- [16] 陈波浪, 戴婷婷, 盛建东, 等. 施磷对新疆棉田土壤磷素有效性的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013 (4): 21–25.
- [17] 侯银莹, 叶祖鹏, 冯琳, 等. 施磷量对棉田土壤不同形态无机磷的影响 [J]. 西南农业学报, 2019, 32 (12): 2834–2841.
- [18] 白灯莎·买买提艾力, 刘盛林, 孙良斌, 等. 顶端调控对棉花根系活力和养分吸收的影响 [J]. 新疆农业科学, 2016, 53 (8): 1397–1403.
- [19] 杨长琴, 刘瑞显, 张国伟, 等. 江苏滨海盐碱地麦后直播棉氮、磷、钾肥料优化配比研究 [J]. 棉花学报, 2020, 32 (1): 11–20.
- [20] 颜晓军, 叶德练, 苏达, 等. 磷肥用量对甜玉米磷素吸收利用的影响 [J]. 作物学报, 2021, 47 (1): 169–176.
- [21] 胡雨彤, 郝明德, 付威, 等. 不同降水年型和施磷水平对小麦产量的效应 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (2): 299–309.
- [22] 哈丽哈什·依巴提, 张炎, 李青军, 等. 不同施氮量对棉花产量、养分吸收分配及利用的影响 [J]. 新疆农业科学, 2017, 54 (8): 1422–1428.
- [23] 胡国智, 张炎, 胡伟, 等. 施磷对棉花磷素吸收、利用和产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2010 (4): 27–31.
- [24] 杨明花, 姜益娟, 聂万林, 等. 施磷量对膜下滴灌杂交棉氮磷钾养分吸收利用及产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28 (5): 75–78.
- [25] 赵靛, 侯振安, 李水仙, 等. 磷肥用量对土壤速效磷及玉米产量和养分吸收的影响 [J]. 玉米科学, 2014, 22 (2): 123–128.
- [26] 韩伟, 叶祖鹏, 冯琳, 等. 施磷对机采棉养分吸收与磷利用效率的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2018, 20 (8): 91–99.
- [27] 戴婷婷, 盛建东, 陈波浪. 磷肥不同用量对棉花干物质及氮磷钾吸收分配的影响 [J]. 棉花学报, 2010, 22 (5): 466–470.
- [28] 哈丽哈什·依巴提, 李传龙, 刘欢, 等. 基于产量反应的棉花推荐施肥效应 [J]. 新疆农业科学, 2021, 58 (1): 72–79.
- [29] 顾惠敏, 陈波浪, 王庆惠. 施磷对不同质地棉田土壤磷素有效性及磷肥利用率的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (3): 100–108.

Effects of phosphorus application rates on nutrient utilization and economic benefits of cotton in southern Xinjiang

ZHANG Hong¹, WANG Ai-lian¹, ZENG Xiong^{1*}, Halihashi Yibati^{2, 3}, LI Qing-jun^{2, 3}, ZHANG Yan^{2, 3*} (1. Agricultural Technology Extension Center of Awati, Awati Xinjiang 843200; 2. Institute of Soil, Fertilizer and Agricultural Water Conservation, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi Xinjiang 830091; 3. Key Laboratory of Desert-oasis Crop Physiology, Ecology and Cultivation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi Xinjiang 830091)

Abstract: In order to provide scientific evidence for reasonable phosphorus application in cotton production, the effects of phosphorus application rates on yield, nutrient uptake and phosphorus utilization of cotton were studied under the condition of film mulching drip irrigation. The experiment was conducted in Awati county of Xinjiang from 2017 to 2019. Five different phosphorus application rates were set up under the same amount of nitrogen and potassium. Cotton samples were collected at the boll opening stage, and the yield, biomass, nutrient absorption and phosphorus utilization of cotton were determined. The cotton yield, biomass and output value increased significantly with the increase of phosphorus application rate when the rate was 0 ~ 130 kg · hm⁻², and the absorption of nitrogen, phosphorus and potassium also increased significantly, but the effect was not significant when the phosphorus application rate was higher than 130 kg · hm⁻². The phosphorus agronomic efficiency and contribution rate of cotton increased firstly and then decreased while phosphorus utilization efficiency and partial productivity of cotton decreased with the increase of phosphorus application rate. And the agronomic efficiency and contribution rate of phosphorus reached the highest when the phosphorus application rate was 130 kg · hm⁻². The regression analysis showed that the optimal economic phosphorus application rate to obtain the maximum yield were 141.21 and 130.19 kg · hm⁻², respectively, and the corresponding yields were 6562.19 and 6558.22 kg · hm⁻², respectively. The economic phosphorus application rate could save 7.81% of phosphorus fertilizer without reducing cotton yield (99.94% of the maximum yield). Therefore, considering yield, economic benefits, nutrient absorption and nitrogen utilization of cotton, the recommended economic phosphorus application rate of the selected cotton field is 130.19 kg · hm⁻².

Key words: cotton; phosphorus application rate; yield; nutrient uptake; phosphorus utilization