

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

马 丹^{1,2},赵 库^{1,2},沙木和别克·阿咱别克^{1,2},袁 芳^{1,2},
努尔居马·卡德尔别克¹,盛建东^{1,2},张 凯^{1,2}

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐 830052;2. 新疆土壤与植物生态过程重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830052)

摘 要:通过研究不同磷肥种类和施用方式对新疆棉田棉花磷吸收、产量和土壤磷平衡的影响,明确适合新疆棉田的磷肥种类和施用方式。采用田间试验方法,设置 6 个处理:不施磷肥(CK)、重过磷酸钙基施(TSP-B)、磷酸一铵基施(MAP-B)、磷酸脲基施(UP-B)、磷酸一铵滴施(MAP-D)、磷酸脲滴施(UP-D),在棉花花蕾期、花铃期、吐絮期分别采集土壤及植物样品,测定土壤有效磷含量、棉花各器官吸磷量和籽棉产量,并计算磷肥利用效率和棉田磷平衡。结果表明:磷酸一铵和磷酸脲处理的土壤有效磷含量、植物吸磷量高于重过磷酸钙处理,并且吐絮期时,滴施处理(MAP-D、UP-D)土壤有效磷含量比基施处理(MAP-B、UP-B)增加了 46.34%和 105.12%。与不施磷肥和重过磷酸钙处理相比,磷酸一铵和磷酸脲处理的籽棉产量显著提高,且滴施处理略高于基施处理,磷酸一铵滴施处理的籽棉产量相较于不施磷肥和重过磷酸钙处理增加了 41.38%和 37.82%。磷酸一铵滴施的磷肥当季利用率和农学效率最高,分别为 25.44%和 19.59 kg·kg⁻¹,且棉田磷素盈余最少,为-39.99 kg·hm⁻²。综上,在新疆棉花种植体系中,磷酸一铵和磷酸脲提高土壤有效磷含量、籽棉产量、磷肥利用率和植物利用土壤磷素的效果优于重过磷酸钙,且滴施略优于基施。

关键词:棉花;磷肥种类;施用方式;产量;土壤磷平衡;新疆棉区

中图分类号:S562;S147.3 **文献标志码:**A

Effects of phosphate fertilizer types and application methods on
phosphorus utilization and cotton yield in Xinjiang cotton field

MA Dan^{1,2}, ZHAO Ku^{1,2}, Shamuhebieke · Azanbieke^{1,2}, YUAN Fang^{1,2},
Nuerjuma · Kadeerbieke¹, SHENG Jiandong^{1,2}, ZHANG Kai^{1,2}

(1. College of Grass and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;
2. Xinjiang Key Laboratory of Soil and Plant Ecology, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: In order to explore the best phosphorus fertilizer and application method used in cotton field in Xinjiang, the effects of different fertilizer types and application methods on uptake yield and soil balance in cotton fields in Xinjiang were studied. Six treatments were set up: no fertilizer (CK), triple superphosphate as base fertilizer (TSP-B), monoammonium phosphate as base fertilizer (MAP-B), urea phosphate as base fertilizer (UP-B), monoammonium phosphate applied with drip irrigation (MAP-D), urea phosphate applied with drip irrigation (UP-D). Soil and plant samples were collected in the bud stage, flowering boll stage and boll opening stage to determine the soil, plant accumulation and seed cotton yield. The results showed that, soil treated with MAP and UP was higher than that of TSP; and plant phosphorus uptake were higher under applied with drip irrigation than as bas fertilizers. In the boll opening period, the soil content under MAP-D and UP-D treatments were 46.34% and 105.12% higher than MAP-B and UP-B treatments. Compared with CK and TSP treatments, the yield of seed cot-

ton under MAP and UP treatments was significantly higher, and drip treatment was slightly higher than base treatment. MAP-D treatment significantly increased yield by 41.38% and 37.82% compared to CK and TSP-B treatments. The fertilizer utilization rate and agronomic efficiency under MAP-D treatment were the highest, 25.44% and 19.59 kg · kg⁻¹, respectively. The soil balance under MAP-D treatment was -39.99 kg · hm⁻², which lowest among fertilization treatments. In summary, in Xinjiang cotton planting system, MAP and UP may be the better fertilizers compared with TSP in improving soil availability, seed cotton yield, fertilizer utilization rate and plant capability to use soil, and drip application slightly better than basal application.

Keywords: cotton; phosphate fertilizer type; fertilization method; yield; soil phosphorus balance; Xinjiang cotton field

新疆棉花种植面积 249.13 万 hm², 总产 511.1 万 t, 占全国棉花总产比例超过 70%^[1], 在我国乃至世界棉花生产格局中占有举足轻重的地位, 在农民增收方面具有不可替代的作用, 是新疆农业经济的主导产业^[2]。

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^[3]。有研究显示新疆磷肥施用量由 1979 年的 8.3 kg · hm⁻² 增加至 2012 的 95.5 kg · hm⁻², 并以递增率 7.7% 的趋势逐年上升^[4], 但磷肥利用效率很低, 当季利用率一般只有 10%~25%, 即使加上磷肥后效, 其利用率也不足 50%^[5-6]。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。新疆土壤属典型性石灰性土壤 (CaCO₃>15%)^[7], 磷肥施入后很快被土壤吸附或固定, 成为难溶态或无效态, 很难被当季植物吸收利用^[8]。另一方面, 棉农为了追求经济效益, 大都采用磷肥基施方式向棉田一次性投入大量磷肥^[9], 造成磷素施用严重过量 and 磷肥利用率低下。另外, 随着磷肥工业的发展, 磷肥品种越来越多样化, 加之膜下滴灌技术的推广应用, 高浓度磷肥产品鱼目混珠, 农户对适宜新疆棉田石灰性土壤施用的磷肥品种选择缺乏科学依据。这不仅增加了生产成本, 还可能造成环境污染, 影响棉花生产的可持续发展。

为了保障新疆棉花生产的可持续发展, 有必要遵循国际上先进的“4R”养分管理原则^[10], 即选择正确的肥料品种 (Right source), 把合适用量 (Right rate) 的肥料, 在合理的施肥时间 (Right time) 施用在恰当位置 (Right place)。在新疆棉花生产中, 因为肥料用量直接关系到经济收入, 通常被过分重视, 而肥料种类和施肥方式却常常被忽视^[11]。有研究表明, 新疆磷肥品种早期以过磷酸钙 (SSP)、重过磷酸钙 (TSP) 为主, 而后逐渐向磷酸一铵 (MAP)、磷酸二铵 (DAP) 和其他复合磷肥进行演变^[4], 在作物肥效试验中, 磷铵类肥料 (MAP、DAP) 相较于过磷

酸钙和钙镁磷肥其效果更优^[12]; 磷肥施用方式上, 由于滴灌技术兴起, 从早前的 100% 基施, 逐步向基施+追施的方向发展^[4], 研究表明, 磷肥滴灌追施与基施相比, 前一种情况下磷素在土壤中的平均垂直移动距离会显著提高^[13], 从而提高了磷肥利用效率。但前人研究多从单一的磷肥种类、施磷方式和磷肥用量等方面进行磷肥有效性的研究, 而对适宜新疆石灰性土壤的磷肥种类及施用方式的结合使用的研究较少。

本研究根据新疆石灰性土壤特征, 选择重过磷酸钙、磷酸一铵和磷酸脲等酸性或生理酸性磷肥, 设置一次基施和分次滴施处理, 研究不同磷肥种类和施用方式对土壤磷素有效磷、棉花磷吸收、产量和磷肥利用率的影响, 旨在为新疆棉田的磷肥高效利用、减磷增效提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2018 年 4 月在新疆沙湾县新疆农业大学棉花育种基地 (85°45′34″E, 44°29′26″N) 进行。试验区气候干燥, 既有中温带大陆性干旱气候特征, 又有垂直气候特点, 昼夜温差大。年平均气温 6.3℃~6.9℃, 降水量 140~250 mm, 年蒸发量 1 500~2 000 mm, 年日照时数 2 800~2 870 h, ≥10℃ 的积温 3 400~3 600℃, 无霜期 170~190 d。试验土壤质地为壤土, 土壤背景值分别为 pH=8.14, 有机质 7.68 g · kg⁻¹, 碱解氮 35.50 mg · kg⁻¹, 有效磷 15.75 mg · kg⁻¹, 速效钾 289.27 mg · kg⁻¹, 电导率 106.98 μS · cm⁻¹。

1.2 试验设计

试验于 2018 年 4 月底开始播种, 棉花品种为新农大 3 号, 采用一膜六行两带的种植模式 (即一行薄膜中有两条滴灌带, 种植 6 行棉花)。其中, 膜宽 2.2 m, 两膜间宽 0.35 m。每膜内棉花按照窄宽行距的方式种植。即在每个窄行 (12 cm) 种植两行棉

花,每两个窄行之间设置一个宽行,并在其中设置一条滴灌带,宽行距离为 65 cm。每行内棉花株距 14 cm,理论株数为 1.9×10^5 株 $\cdot$ hm⁻²。本试验按照完全随机方式设计,共设置 24 个 8 m×8.8 m 的小区。设以下 6 个处理:不施磷肥(CK)、重过磷酸钙基施(TSP-B)、磷酸一铵基施(MAP-B)、磷酸一铵滴施(MAP-D)、磷酸脲基施(UP-B)和磷酸脲滴施(UP-D),每个处理均有 4 次重复。因试验目的在于比较磷肥种类和施用方式对土壤磷素有效性和棉花产量的影响,因此,上述 6 个处理中 P₂O₅ 的用量全部相同,均为 100 kg $\cdot$ hm⁻²。3 个磷肥的基施处理(TSP-B、MAP-B 和 UP-B)是在播种前翻地时,将磷肥全部施入。而两个滴施的处理(MAP-D 和 UP-D)则是在播种翻地时将 25%的肥料作为基肥施入,其余 75%于 5 月至 8 月参照当地农民习惯灌溉次数,分 6 次随滴灌施入。整个棉花生育期,所有小区滴灌量和当地农民滴灌量保持一致,每个小区滴灌量为 3 420 m³ $\cdot$ hm⁻²(表 1)。

表 1 灌水时间及灌水量

Table 1 Irrigation time and quantity

灌水次数 Number of irrigation	灌水时间 Time of irrigation (y-m-d)	灌水量/(m ³ $\cdot$ hm ⁻²) Amount of irrigation
出苗水 Irrigation at seedling	2018-05-01	375(未施肥 Unfertilized)
1	2018-07-03	490
2	2018-07-13	375
3	2018-07-23	630
4	2018-07-28	450
5	2018-08-02	530
6	2018-08-10	570
总计 Total		3420

为保证本试验仅受到磷肥种类和施用方式的影响,对上述处理,在棉花整个生育期,对每个小区也施加了氮肥(220 kg $\cdot$ hm⁻²)和钾肥(90 kg $\cdot$ hm⁻²)来排除氮和钾的缺乏对试验结果的影响。氮肥和钾肥也随滴灌分 6 次施入。考虑到磷酸一铵和磷酸脲中本身含有氮,因此,在氮肥滴灌施入时将 MAP 和 UP 肥料中本身含有的氮素进行了扣除。其他田间管理和农艺措施均与新疆棉田普遍采用的模式保持一致。

1.3 测定方法与计算

1.3.1 植物样品采集与测定 分别在棉花的花蕾期(7 月 22 日)、花铃期(8 月 7 日)和吐絮期(9 月 7

日),每个小区采集有代表性的植株各 8 株,按不同器官(根、茎、叶、壳、絮、籽)依次分开,用蒸馏水洗净在 105℃烘箱中杀青 1 h 后,75℃烘干至恒重,称量并记录干物质重。最后,将烘干的各器官植物样品进行粉碎和过筛,经硫酸-双氧水消煮后,用钒钼黄比色法测定棉株各器官中 P₂O₅ 含量。

1.3.2 土壤样品采集与测定 在棉花的花蕾期(7 月 25 日)、花铃期(8 月 9 日)和吐絮期(9 月 9 日)采集植株的同时,每个小区同步进行土壤样品采集。考虑到土壤中养分存在空间异质性的特征,先在各试验小区不同位置,随机采集多个 0~20 cm 的土样,再将来自同一小区的土壤样品混合成一份综合样品。经自然风干和手工拣去石块等杂物,过 1 mm 筛后用 pH 8.0 的碳酸氢钠溶液浸提,再用钒钼蓝比色法测定土壤有效磷含量。

1.3.3 产量测定 在 9 月 18 日所有棉株上棉桃吐絮完全时(棉花产量最大时)进行测产。具体测产方法如下:在各试验小区随机设置 1 个面积为 4 m² 的样方,记录该样方内的棉花株数,并统计单株铃数和单铃重。总产量通过株数乘以铃数和单铃重所得。

1.3.4 养分利用率计算公式 本试验参考之前文献^[5,14-16],共计算了以下 4 种磷肥利用率:

磷肥利用率(*REP*,%)=(施磷处理的磷吸收量-空白处理的磷吸收量)/施磷量

磷肥累积利用率(*PUE*,%)=施磷处理的吸磷量/施磷量

磷肥农学效率(*AE*,kg $\cdot$ kg⁻¹)=(施磷处理的产量-对照产量)/施磷量

磷肥偏生产力(*PEP*,kg $\cdot$ kg⁻¹)=施磷处理的产量/施磷量

以上磷吸收量、施磷量、作物产量单位均为 kg $\cdot$ hm⁻²。

1.4 数据处理

利用 SPSS 17.0 统计软件进行单因素方差分析和 LSD 多重比较,分析不同磷肥品质和施用方式对土壤磷素和棉花产量的影响。利用 Microsoft Excel 2010 和 SigmPlot 10.0 软件对分析结果进行作图。

2 结果与分析

2.1 磷肥种类和施用方式对土壤有效磷的影响

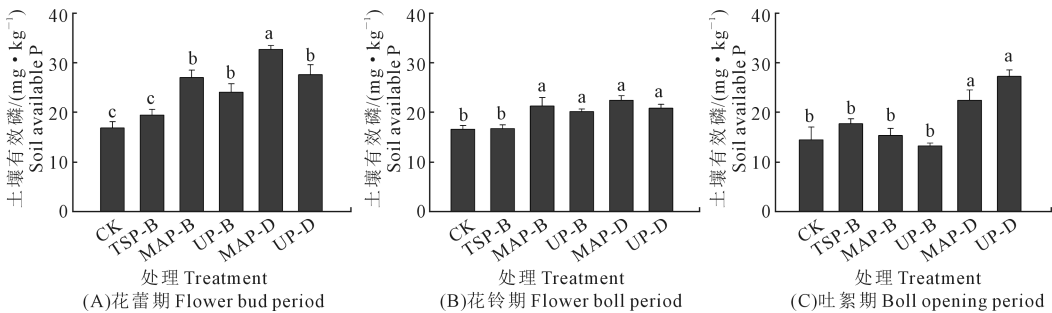
由图 1 可以看出,磷肥种类和施用方式对土壤有效磷的影响因棉花生育期不同而异。在花蕾期和花铃期,重过磷酸钙基施(TSP-B)对土壤有效磷

含量均无显著影响,但磷酸一铵基施(MAP-B)和滴施(MAP-D)以及磷酸脲基施(UP-B)和滴施(UP-D)均显著增加了土壤有效磷含量(图1A,图1B)。花蕾期 MAP-D 处理中土壤有效磷含量显著高于 MAP-B、UP-B 和 UP-D 处理(图1A)。与对照相比,花蕾期土壤有效磷含量在 MAP-D 处理中增加了 93.91%,但在 MAP-B、UP-B 和 UP-D 处理中则分别增加了 59.91%、42.41%和 63.26%(图1A)。在花铃期,两种水溶性磷肥(MAP、UP)基施和滴施处理无显著差异(图1B)。在吐絮期,仅 MAP-D 和 UP-D 处理中土壤有效磷显著高于对照,且土壤有效磷在二者间无显著差异(图1C)。综合来看,

MAP-D 和 UP-D 处理在花蕾期、花铃期和吐絮期,均显著增加了土壤有效磷含量,但 MAP-B 和 UP-B 仅在花蕾期和花铃期可显著增加土壤有效磷含量,而 TSP-B 在不同生育期对土壤有效磷均无显著影响(图1)。

2.2 磷肥种类和施用方式对棉花累计吸磷量的影响

在花蕾期,棉花根和茎中磷含量 TSP-B 处理最高,分别为 $5.93\pm0.17\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $5.16\pm0.28\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,但叶和花蕾中磷含量在所有处理中均无显著差异(表2),表明重过磷酸钙基施有利于花蕾期营养器官对磷的吸收。在花铃期,棉花茎和叶中磷含量在



注:不同字母表示同一时期不同处理间达显著性差异($P<0.05$)。CK:不施磷肥;TSP-B:重过磷酸钙基施;MAP-B:磷酸一铵基施;UP-B:磷酸脲基施;MAP-D:磷酸一铵滴施;UP-D:磷酸脲滴施。下同。
Note: Different letters indicate significant differences between different treatments in the same period. ($P<0.05$). CK: No phosphate fertilizer; TSP-B: Monocalcium phosphate-Base; MAP-B: Monoammonium phosphate-Base fertilization; UP-B: Urea phosphate-Base fertilization; MAP-D: Monoammonium phosphate-Drip fertilization; UP-D: Urea phosphate-Drip fertilization. The same below.

图1 不同处理的土壤有效磷含量

Fig.1 Available phosphorus content of soil with different treatments

表2 棉花植株各生育期器官含磷量/(g·kg⁻¹)

Table 2 Phosphorus content in organs of cotton plants at different growth stages

时期 Period	处理 Treatment	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	壳 Shell	花蕾/絮 Bud/Fiber	棉籽 Seed
花蕾期 Flower bud	CK	4.81±0.08cd	4.31±0.27c	6.07±0.19a		6.56±0.16a	
	TSP-B	4.57±0.24d	4.46±0.08c	5.83±0.36a		6.82±0.18a	
	MAP-B	5.93±0.17a	5.16±0.28a	6.31±0.23a		6.72±0.22a	
	UP-B	5.36±0.10bc	4.57±0.23ab	6.03±0.34a		6.68±0.13a	
	MAP-D	5.32±0.24bc	4.44±0.20c	6.66±0.21a		6.38±0.14a	
	UP-D	5.53±0.21ab	4.63±0.16ab	6.37±0.23a		6.43±0.08a	
花铃期 Flowering	CK	5.91±0.81b	5.82±0.25ab	6.55±0.34bc	6.22±0.25b	3.08±0.33a	12.82±0.24b
	TSP-B	8.14±0.90a	5.96±0.38ab	6.04±0.26c	6.19±0.43b	2.55±0.19a	14.18±0.48b
	MAP-B	5.08±0.31b	5.72±0.22ab	6.41±0.42c	7.28±0.18a	2.61±0.31a	15.68±0.64a
	UP-B	7.06±0.33ab	4.96±0.17b	9.02±0.76a	6.76±0.47ab	2.34±0.12a	15.22±0.42a
	MAP-D	5.35±0.78b	5.92±0.59ab	7.80±0.89abc	7.45±0.38a	2.95±0.51a	15.17±0.54ab
	UP-D	5.65±0.73b	6.56±0.54a	8.53±0.97ab	7.30±0.21a	3.16±0.30a	15.98±0.40ab
吐絮期 Boll opening	CK	3.94±0.21a	4.01±0.27a	4.90±0.34a	3.14±0.17a	1.63±0.06b	12.68±0.38c
	TSP-B	3.82±0.60a	3.51±0.11a	4.15±0.07a	3.15±0.16a	1.50±0.04b	14.60±0.42b
	MAP-B	3.40±0.49a	3.47±0.20a	4.34±0.18a	3.35±0.25a	2.20±0.03a	15.30±0.59ab
	UP-B	3.73±0.44a	3.62±0.14a	4.45±0.14a	3.17±0.15	2.35±0.12a	15.25±0.39ab
	MAP-D	3.87±0.35a	4.01±0.27a	4.80±0.25a	3.47±0.23a	2.26±0.14a	15.53±0.37ab
	UP-D	3.38±0.70a	3.58±0.22a	4.37±0.16a	3.55±0.16a	2.38±0.30s	16.25±0.38a

注:数据代表4个重复值的平均值±标准误,标准误后不同英文小写字母表示同一生育时期不同处理下各器官含磷量差异显著($P<0.05$)。花蕾期仅有根、茎、叶、花蕾器官,花铃期和吐絮期花蕾分化为壳、棉絮、棉籽器官。

Note: The data represents the mean ±standard error of 4 replicates. Different lowercase letters after standard error indicate significant differences in phosphorus content of different organs under different treatments during the same growth period ($P<0.05$). There were only roots, stems, leaves and flower buds in the flower bud stage, and the flower buds in the flowering and bolling stage were differentiated into shell, fiber and seed.

UP-D 和 UP-B 处理中最高,而壳和棉籽中磷含量在 MAP-D 和 MAP-B 处理中最高(表 2),表明 UP-D 和 UP-B 有利于营养器官对磷的吸收,而 MAP-D 和 MAP-B 有利于生殖器官对磷的吸收。在吐絮期,花蕾和棉籽中磷含量分别在 MAP-D 和 UP-D 处理中最高,而其他器官中磷含量在不同磷肥种类和施用方式中均无显著差别(表 2),表明在吐絮期,滴施有利于生殖器官对磷的吸收。

由图 2 可以看出,磷肥种类和施用方式对花蕾期、花铃期和吐絮期整株磷素累计吸收量均有显著影响。其中,花蕾期、花铃期和吐絮期整株磷素累计吸收量最高值均出现在 MAP-D 处理中,其整株磷素累计吸收量在花蕾期、花铃期和吐絮期比对照分别增加了 50.0%、63.7%和 64.2%,表明在沙湾县 MAP-D 处理对棉花整株磷素累计吸收量的效果最好。

2.3 磷肥种类和施用方式对棉花产量及产量构成的影响

由表 3 可知,本研究中除 TSP-B 处理外,与对

照相比 MAP-D、UP-D、UP-B 和 MAP-B 处理均显著提高了棉花单铃重、单株铃数和籽棉产量(表 3)。其中,MAP-D 处理下棉花单铃重、单株铃数和籽棉产量均最高。与对照相比,MAP-D 处理下棉花单铃重、单株铃数和籽棉产量分别增加了 8.5%、45.7%和 41.4%。该结果表明在沙湾县,MAP-D 处理更有利于棉花产量的增加。

2.4 磷肥种类和施用方式对磷肥利用率和收支平衡的影响

从表 4 可以看出,与对照相比,磷肥种类和施用方式都提高了棉花的磷肥利用效率、磷肥累积利用率、磷肥农学效率和磷肥偏生产力(表 4)。对于同一种磷肥,滴施处理磷肥利用效率均高于基施处理。例如:MAP-D 处理磷肥利用率较 MAP-B 处理提高了 6.28%,UP-D 处理磷肥利用率较 UP-B 处理提高了 4.17%。磷肥利用效率、磷肥累积利用率、磷肥农学效率和磷肥偏生产力最高值均出现在 MAP-D 处理中。结果表明,MAP-D 处理有利于棉花磷素利用效率的提高。

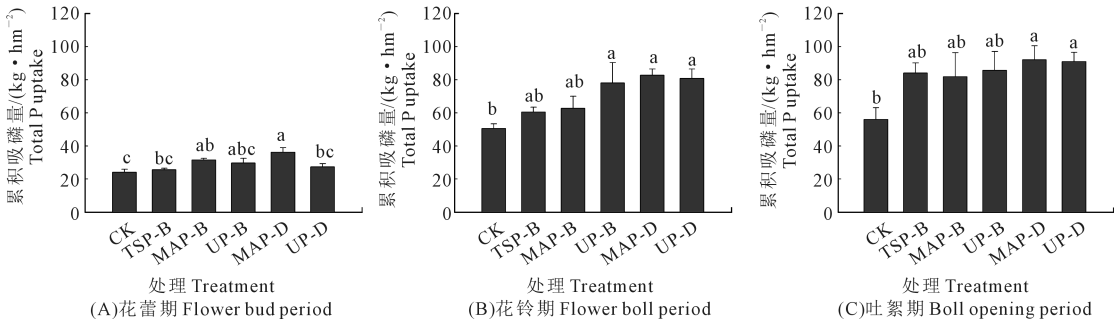


图 2 不同处理下棉花的磷素吸收量

Fig.2 Phosphorus uptake by cotton with different treatments

表 3 不同处理的棉花产量构成及产量
Table 3 Cotton yield and yield composition with different treatments

处理 Treatment	单铃重 Single bell weight/g	单株铃数 Number of bolls per plant	籽棉产量 Cotton yield /(kg·hm ⁻²)
CK	4.95±0.02b	5.03±0.38d	4734.16±200.43b
TSP-B	4.93±0.10b	5.30±0.46cd	4856.61±325.36b
MAP-B	5.31±0.04a	6.10±0.17bc	6324.27±290.26a
UP-B	5.16±0.09ab	6.23±0.35bc	5755.32±23.37ab
MAP-D	5.37±0.09a	7.33±0.34a	6693.20±206.16a
UP-D	5.36±0.13a	6.57±0.09ab	6064.76±240.92a

表 4 不同磷肥种类和施用方式对磷肥利用的影响
Table 4 Effect of different phosphate fertilizer types and application methods on P fertilizer utilization

处理 Treatment	磷肥利用率 REP/%	磷肥累积利用率 PUE/%	磷肥农学效率 AE /(kg·kg ⁻¹)	磷肥偏生产力 PFP /(kg·kg ⁻¹)
TSP-B	13.45	72.52	1.22	48.57
MAP-B	19.16	66.15	15.90	63.24
UP-B	16.31	70.84	10.21	57.55
MAP-D	25.44	74.58	19.59	66.93
UP-D	20.48	61.51	13.31	60.65

本研究用磷素盈余量来表示棉田土壤磷平衡,磷素盈余量通过计算磷素输入与输出之差所得。本研究中棉花秸秆均还田,因此主要磷素输出为棉絮和籽棉。结果表明,所有处理中磷素盈余均为负值,除对照外,MAP-D 处理磷素盈余量最低(表 5),表明在 MAP-D 处理下,棉花可在保证较高产量的同时,利用更多的土壤磷素。

注:同列不同字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different letters in the same column indicate significant difference between treatments ($P<0.05$).

表 5 不同磷肥种类和施用方式对棉田磷素盈余的影响
Table 5 Effect of different phosphate fertilizer types and application methods on P surplus in cotton fields

处理 Treatment	磷素输入 P input/(kg·hm ⁻²)			磷素输出 P output/(kg·hm ⁻²)			磷素盈余/(kg·hm ⁻²) P surplus
	磷肥 P fertilizer	棉种 Seed	合计 Total	棉絮 Fiber	棉籽 Seed	合计 Total	
CK	0.00	1.17	1.17	7.03	103.03	110.06	-108.89
TSP-B	100.00	1.17	101.17	7.47	109.78	117.25	-16.08
MAP-B	100.00	1.17	101.17	10.72	127.97	138.68	-37.51
UP-B	100.00	1.17	101.17	10.60	120.96	131.56	-30.39
MAP-D	100.00	1.17	101.17	8.98	129.89	141.16	-39.99
UP-D	100.00	1.17	101.17	13.03	126.39	137.13	-35.96

注:棉种输入量按照理论株数 1.9×10⁵ 株·hm⁻²,每穴 2 粒棉籽进行估算。
Note: The input amount of cotton seeds was estimated according to the theoretical number of plants of 1.9×10⁵ plants·hm⁻², with two cotton seeds per hole.

3 讨 论

3.1 磷肥种类及施用方式对土壤磷素有效性的影响

磷肥有效性与土壤的理化性质密切相关^[17-18]。在新疆呼图壁县的研究表明,磷酸二铵(DAP)处理下棉田土壤有效磷低于重过磷酸钙(TSP)^[19]。这可能是因为磷酸二铵是偏碱性的肥料,而 TSP 是酸性肥料,在新疆偏碱性的石灰性土壤中,酸性肥料效果更好;另外,DAP 解离后释放的磷酸二氢根离子,相比于 TSP 解离后释放的磷酸一氢根离子,其溶解性和植物可利用性稍低,故使得土壤中有效磷较低。本研究中,TSP、MAP 和 UP 均为酸性肥料,在磷肥基施条件下,花蕾期和花铃期的土壤有效磷含量在 MAP 和 UP 处理中显著高于 TSP 处理(图 1A,图 1B)。这可能是因为,相比于 TSP,MAP 施入土壤后可解离出铵离子,被吸收后置换出氢离子,使土壤略微酸化,从而活化出微域内被固定的磷,提高了磷素有效性^[20]。另外,在吐絮期,MAP、UP 与 TSP 之间土壤有效磷含量无显著性差异(图 1C),可能是因为,虽然 TSP 溶解性较 MAP 和 UP 稍差,但随着时间延长,缓慢释放,使土壤有效磷含量维持在一定范围内。

在棉花生长的后期,滴施处理下的液体肥料依然保持较高的磷素水平,显著高于同种肥料基施处理下的有效磷含量。这可能主要与水肥一体的磷肥施入方式有关,滴施在施肥时间和位置上较传统基施具有更高的灵活性,且具有少量、多次的特点^[21],更大程度上提高了土壤有效磷含量。

3.2 磷肥种类及施用方式对植物吸磷量及产量的影响

磷素的吸收利用直接影响着作物的生长和发育,从而影响作物的产量^[22]。在本研究中,除了基施 TSP,其他两种肥料(MAP、UP)在花蕾期和花铃期均能提高土壤有效磷含量;但对于植物累计吸磷量而言,不同肥料种类和施肥方式处理间均无显著差异;在棉花产量方面,滴施 MAP、UP 处理显著高于基施 TSP。这可能与棉花的生长发育和养分需求

特征有关。磷肥种类和施肥方式造成土壤磷素有效性存在差异,但棉花可能通过调节根系构型或生理特征等手段,获得生长发育所需的磷素,所以不同处理下的植物吸磷量无显著差异;相比于基施处理,滴施处理能够在整个生育期更好地匹配棉花的需磷动态,从而提高磷肥的有效性和产量水平。

3.3 磷肥种类及施用方式对磷肥利用及收支平衡的影响

磷肥种类及施用方式对棉花的磷肥利用及土壤磷素平衡有重要影响^[23]。本试验结果表明,3 种磷肥的利用率表现为 MAP>UP>TSP;MAP 和 UP 滴施处理的磷肥利用率比基施处理分别高 6.28%和 4.17%。这与李青军等^[24]研究结果一致,其研究表明 MAP 能显著提高磷肥当季利用率,且磷肥 100%以追肥的形式随水滴入较一次性基施显著地提高了石灰性土壤中玉米对磷肥的吸收利用效率^[13]。这可能是滴施条件下能配合棉花需磷特性分次随水供磷,实现了磷素养分资源高效利用。

从棉田土壤磷平衡来看,在本试验施用 100 kg·hm⁻²的情况下,所有处理在土壤中磷素的盈余量为负值,处于土壤磷消耗状态(表 5)。但是在土壤磷素消耗状态下,处理仍能保持较高的棉花产量(表 3),表明通过合理选择磷肥种类和施用方式,可在保证作物产量的同时,挖掘植物利用土壤磷素的潜力。

4 结 论

MAP 和 UP 处理的土壤有效磷含量、植物吸磷量高于 TSP 处理;并且滴施处理优于基施处理。与 CK 和 TSP 处理相比,MAP 和 UP 处理的籽棉产量显著较高,且滴施处理略高于基施处理。MAP-D 的磷肥当季利用率和农学效率最高,且棉田磷素盈余最少。综上,在新疆棉花种植体系中,MAP 和 UP 在提高土壤有效磷含量、籽棉产量、磷肥利用率和植物利用土壤磷素的能力方面优于 TSP,且滴施略优于基施,其中 MAP-D 在沙湾县棉田中可最大化增加棉花产量和提高磷肥利用效率。

参 考 文 献:

[1] 毛盛勇, 叶植材. 中国统计摘要 2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.

[2] 黄璐, 宋玉兰. 新疆棉花生产效率发展现状分析[J]. 山西农业科学, 2017, 45(6): 158-161.

[3] 黄建国. 植物营养学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 140-144.

[4] 陈家杰, 张钰, 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): 100-108.

[5] 卜容燕, 任涛, 鲁剑巍, 等. 水稻-油菜轮作条件下磷肥效应研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1227-1234.

[6] 鲁如坤. 土壤磷素(二)[J]. 土壤通报, 1980, 11(2): 47-49.

[7] 王金鑫. 新疆石灰性土壤锌有效性及棉花对锌肥的响应[D]. 石河子: 石河子大学, 2013.

[8] 陆文龙, 张福锁, 曹一平. 磷土壤化学行为研究进展[J]. 天津农业科学, 1998, 4(4): 1-7.

[9] 汪雪莹. 东北地区土壤有机质含量分布情况分析[J]. 现代农业科学, 2008, 15(12): 36-37, 40.

[10] Johnston A M, Brulsema T W. 4R nutrient stewardship for improved nutrient use efficiency [J]. Procedia Engineering, 2014, 83:365-370.

[11] 陈防, 张过师. 农业可持续发展中的“4R”养分管理研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(23): 245-250.

[12] 李阿荣, 顾益初, 蒋柏藩. 石灰性土壤适用磷肥品种的研究[J]. 土壤, 1985, 17(6): 319-322.

[13] 王静. 不同施磷策略对磷在土壤中移动、转化及磷肥利用率的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2016.

[14] 辛承松, 董合忠, 罗振, 等. 黄河三角洲盐渍土棉花施用氮、磷、钾肥的效应研究[J]. 作物学报, 2010, 3(10): 1698-1706.

[15] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.

[16] 陈远学, 李汉邯, 周涛, 等. 施磷对间套作玉米叶面积指数、干物质积累分配及磷肥利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2013, 24(10): 2799-2806.

[17] 李祖荫, 刘军, 孔晓玲. 石灰性土壤中粘粒与碳酸钙的固磷作用[J]. 中国土壤与肥料, 1983, (2): 13-15.

[18] 马毅杰. 土壤的酸碱性[J]. 土壤, 1974, (6): 48-51.

[19] 陈波浪, 盛建东, 蒋平安, 等. 磷肥种类和用量对土壤磷素有效性和棉花产量的影响[J]. 棉花学报, 2010, 22(1): 49-56.

[20] 蔡秋燕, 张锡洲, 李廷轩, 等. 不同磷源对磷高效利用野生大麦根际土壤磷组分的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(11): 144-151.

[21] 叶壮, 褚贵新, 冶军, 等. 固、液态磷源在石灰性土壤中的移动性及其对土壤有效磷含量影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1433-1438.

[22] 刘刚, 殷浩, 罗春燕, 等. 不同施肥处理对桑叶产量及其品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 506-511.

[23] 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.

[24] 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): 65-72.

(上接第 61 页)

3 讨论与结论

本文通过设置大田灌水下限试验对枣树生长、果实产量及水分利用效率进行研究,得出以下结论:

1)降低灌水下限可有效抑制枣树的营养生长。随着灌水下限的降低,对枣树枣吊生长抑制作用加剧,相较处理 T4,各处理枣吊长度减少了9.12%~31.84%。

2)适宜的灌水下限可以提高枣树的产量和果实等级。不同灌水下限对枣树果实等级影响显著,处理 T1、T2、T3 的三级果比例降低至 25% 以下。其中,T1 处理中一级果和二级果的比例最高,分别为 42.61% 和 39.36%。不同灌水下限对红枣产量影响显著,其中处理 T2 产量最高,为 6 832.9 kg · hm⁻²,较处理 T4 提高了 11.26%。因此,适度的降低灌水下限不仅可以提高枣树产量,还能增加一级、二级果实的比重。

3)适宜的灌水下限有利于提高干旱区植物的水分利用效率。降低灌水下限有利于提高枣树的水分利用效率,其中:处理 T1、T2、T3 的水分利用效率较处理 T4 提高了 10.10%~28.28%。综合考虑不同灌水下限对灰枣生长、产量以及水分利用效率的影响,在沙漠绿洲区灌水下限为田间持水率的 55% 较适宜于灰枣的生长和发育。

参 考 文 献:

[1] 刘聪,海妮,张英. 红枣不同部位中有效成分含量的比较研究[J]. 现代食品科技,2014, 30(3): 258-261.

[2] 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴 2018[J]. 北京: 中国统计出版社, 2018.

[3] 谢美玲. 基于土壤水分下限滴灌红枣灌溉制度研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2012.

[4] 申孝军,孙景生,刘祖贵,等.灌水控制下限对冬小麦产量和品质的影响[J].农业工程学报,2010,26(12): 58-65.

[5] 胡兰,翟国亮,邓忠,等. 灌溉方式和灌水下限对温室青茄生长、耗水特性及产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2019, 38(2): 16-21.

[6] 宝哲,刘洪禄,程明博,等. 温室滴灌条件下灌水下限对小型西瓜生长及耗水特性的影响[J]. 灌溉排水学报,2014, 33(6): 92-96.

[7] 姚佳宾,李和平,吴鑫森,等. 不同灌水下限对盆栽油葵生长、耗水及产量的影响[J]. 中国农村水利水电,2018,(5): 23-27.

[8] 马福生,刘洪禄,吴文勇,等. 不同灌水下限对设施滴灌无土栽培红掌水分利用和生长的影响[J]. 农业工程学报,2012, 28(8): 65-70.

[9] 杨文斌,郝仲勇,王凤新,等. 不同灌水下限对温室茼蒿生长和产量的影响[J]. 农业工程学报,2011, 27(1): 94-98.

[10] 牛勇,刘洪禄,吴文勇,等. 灌水下限对甜瓜生长及水分利用效率的影响[J]. 排灌机械工程学报,2013, 31(10): 901-906,913.

[11] 牛文全,古君,梁博惠,等. 水分亏缺条件下毛管理深对番茄生长、产量及品质的影响[J]. 农业机械学报,2017, 48(3): 279-287.

[12] 依提卡尔·阿不都沙拉木,朱成立,柳智鹏,等. 调亏灌溉对枣树生长与果实品质和产量的影响[J]. 排灌机械工程学报,2018, 36(10): 948-951.