



## 磷肥品种和施用方式对灌耕灰漠土有效磷和无机磷形态的影响

龚会蝶,王雪艳,王宇莹,盛建东,程军回

(新疆农业大学 资源与环境学院/新疆土壤与植物生态过程重点实验室,乌鲁木齐 830052)

**摘要** 为了灌耕灰漠土合理施用磷肥,通过土壤培养试验,设置不施磷(CK)、重过磷酸钙基施(TSP)、磷酸一铵基施(MAP-B)、聚磷酸铵基施(APP-B)、磷酸一铵一次性滴施(MAP-D)和聚磷酸铵一次性滴施(APP-D) 6个处理,研究磷肥品种和施用方式对土壤有效磷和无机磷形态的影响。结果表明:3种磷肥基施处理(TSP、MAP-B和APP-B)的0~20 cm土层有效磷含量随培养时间显著降低,MAP和APP一次性滴施处理(MAP-D和APP-D)的5~10 cm土层有效磷含量随培养时间呈现增长的趋势。不施磷处理灌耕灰漠土中无机磷以 $Ca_{10}$ -P和O-P为主,分别占无机磷总量的47.94%和23.76%。3种磷肥基施处理均提高0~20 cm土层灌耕灰漠土有效磷含量、无机磷总量以及 $Ca_2$ -P、 $Ca_8$ -P、Al-P、Fe-P的比例,但以上含量和比例在三者之间(TSP、MAP-B和APP-B)均无显著差异。与MAP和APP基施处理相比,二者一次性滴施处理只显著提高灰漠土0~5 cm土层有效磷含量、无机磷总量和 $Ca_2$ -P、 $Ca_8$ -P的比例,显著降低 $Ca_{10}$ -P的比例,提升了0~5 cm土层的供磷能力。综上所述,3种磷肥基施处理均提升了0~20 cm土层的供磷能力,MAP和APP一次性滴施处理仅显著提升了0~5 cm土层的土壤供磷能力,因此生产实践中建议选择价格较低的重过磷酸钙基施。

**关键词** 磷肥品种;施用方式;有效磷;无机磷形态;灌耕灰漠土

土壤有效磷是表征土壤供磷能力的重要指标,也是影响作物产量的主要限制性养分之一<sup>[1-2]</sup>。为提高土壤有效磷含量,农业生产中通常采取的措施为增施磷肥,磷肥施入土壤后经过一系列物理和化学等变化,生成 $Ca_2$ -P、 $Ca_8$ -P、Al-P、Fe-P、O-P和 $Ca_{10}$ -P等多种形态<sup>[3]</sup>,进而对土壤有效磷含量产生影响<sup>[4]</sup>。在石灰性土壤中, $Ca_{10}$ -P含量最高但有效性最低, $Ca_2$ -P含量最低但有效性最高, $Ca_8$ -P、Al-P、Fe-P和O-P含量和有效性则介于上述二者之间<sup>[5]</sup>。研究表明施用磷肥可改变土壤中无机磷形态的含量,但影响幅度因磷肥品种、施用方式和土壤类型的不同而异<sup>[6-8]</sup>。因此,研究不同磷肥品种和施用方式对特定土壤类型有效磷和无机磷形态的影响,对提升土壤供磷能力有重要的科学意义。

目前,我国使用最广泛的磷肥品种主要有重过磷酸钙、磷酸一铵和磷酸二铵等<sup>[9]</sup>。有研究表明在壤质棉田中,重过磷酸钙基施处理的有效磷含量显著高于磷酸二铵基施<sup>[10]</sup>,但在壤质灰漠土

中,重过磷酸钙和磷酸二铵基施处理对有效磷的影响无显著差异<sup>[11]</sup>,表明在相同的施用方式下,不同磷肥品种对土壤有效磷的影响因土壤类型不同而异。此外对于同一磷肥品种,其分次滴施处理的有效磷含量高于一次性基施处理<sup>[12-13]</sup>。导致土壤有效磷变化的一个主要原因是,不同的磷肥品种和施用方式对无机磷形态的影响存在差异。以潮土为例,在5~10 cm土层聚磷酸铵基施处理的有效磷含量显著高于磷酸二铵基施;进一步研究其无机磷形态,发现聚磷酸铵基施生成了更多的 $Ca_8$ -P、Al-P和Fe-P<sup>[14]</sup>。褚贵新等<sup>[15]</sup>研究表明在石灰性土壤上,相较于固体磷肥基施,液体磷肥分次滴施增加 $Ca_2$ -P和 $Ca_8$ -P含量,提高土壤磷的有效性。因此,综合分析磷肥品种和施用方式对土壤有效磷和无机磷形态各自变化和内在联系的影响,有助于深入理解土壤供磷能力的变化。

灰漠土是新疆重要的耕地资源之一,主要分布在昌吉州、博州、伊犁州和乌鲁木齐市<sup>[16]</sup>。灰漠土中无机磷含量较高,占土壤全磷的86%<sup>[17]</sup>,

收稿日期:2022-01-18 修回日期:2022-05-11

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0200205-6);新疆维吾尔自治区重大科技专项(2020A01002-3);新疆维吾尔自治区研究生创新项目(XJ2021G166)。

第一作者:龚会蝶,女,硕士研究生,研究方向为土壤学。E-mail: ghdwxw@163.com

通信作者:程军回,男,副教授,硕士生导师,研究方向为生态学。E-mail: cjhgraymice@126.com

然而前人研究多从长期施肥和添加柠檬酸等方面进行灰漠土无机磷形态的研究<sup>[18-19]</sup>,对适宜灌耕灰漠土的磷肥品种和施用方式的研究较少。因此本研究通过土壤培养试验,以北疆典型的灌耕灰漠土为研究对象,选择两种酸性(重过磷酸钙和磷酸一铵)和一种中性新型磷肥(聚磷酸铵),设置一次性滴施和基施两种施用方式,研究土壤有效磷、无机磷形态含量变化和分布特征,旨在明确适合灌耕灰漠土的磷肥品种和施用方式。

## 1 材料与方 法

### 1.1 土壤概况

培养试验所用土壤为新疆昌吉市二六工镇(87°9'18"E,43°59'38"N)采集的0~20 cm土层的灌耕灰漠土。其有机质含量9.41 g/kg,全磷含量0.6 g/kg,全氮含量1.9 g/kg,全钾含量7.1 g/kg,无机磷总量471.24 mg/kg,有效磷含量15.4 mg/kg,碱解氮含量53.8 mg/kg,速效钾含量314 mg/kg,pH(水土比5:1)为8.4。

### 1.2 试验设计

为明确磷肥品种和施用方式对灌耕灰漠土有效磷、无机磷形态含量及分布的影响,将采集的灌耕灰漠土风干后过2 mm筛,进行土壤培养试验。试验地点为新疆慧尔农业集团有限公司的现代化温室。试验设不施磷(CK)、重过磷酸钙基施(TSP)、磷酸一铵基施(MAP-B)、聚磷酸铵基施(APP-B)、磷酸一铵一次性滴施(MAP-D)和聚磷酸铵一次性滴施(APP-D)6个处理,因重过磷酸

钙溶解度较低,滴施时会造成滴管的堵塞,所以未设置一次性滴施处理。每个处理重复4次,共需24个条盆(底×宽×高:77 cm×33 cm×26 cm),每盆装土50 kg,土层厚度20 cm,进行随机区组排列。

对3种磷肥基施处理(TSP、MAP-B和APP-B),磷肥与土壤混合均匀后,统一装入条盆。对于两种磷肥一次性滴施处理(MAP-D和APP-D),先把土壤装入条盆,之后磷肥溶于水(10 L)一次性滴施进入土壤。此时土壤含水量为田间持水量的80%,滴施装置如图1所示,其他处理也加入等体积的水。

本研究除CK处理外,各个处理纯磷(P)的施入量均为100 mg/kg,3种磷肥的具体施用量如表1所示。在土壤培养试验期间,每周采取称重法浇水保持每个盆中土壤含水量一致,均为田间持水量的60%~80%。田间持水量为25%。

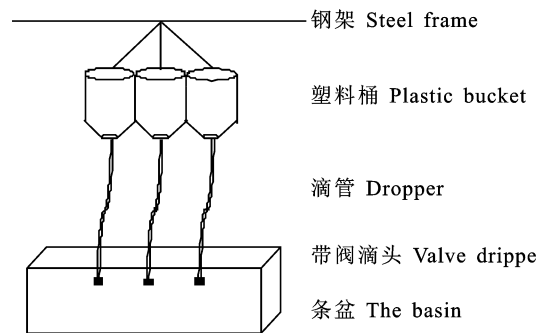


图1 滴施装置

Fig. 1 Dripping irrigation application device

表1 磷肥基本信息

Table 1 Basic information of phosphate fertilizers

磷肥 Phosphate fertilizers	N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O	缩写 Abbreviation	生产厂家 Manufacturers	纯磷施用量/ (mg/kg) Application rate of P	磷肥施用量/ (mg/kg) Application rate of phosphate fertilizers
重过磷酸钙 Triple superphosphate	0-46-0	TSP	云磷恒盛化肥有限公司 Yunlin Hengsheng Chemical Fertilizer Co., Ltd.	100	497.83
磷酸一铵 Monoammonium phosphate	10-50-0	MAP	云天化股份有限公司 Yuntianhua Limited Liability Company	100	458.00
聚磷酸铵 Ammonium polyphosphate	18-58-0	APP	云南天耀化工有限公司 Yunnan Tianyao Chemicals Co., Ltd.	100	394.83

### 1.3 样品采集与测试分析

2019年7月12日开始试验,在第1、3、15、30、60天和第120天,用直径为5 cm的土钻在每个条盆中采集0~5、5~10和10~20 cm土层的

土样。土样经风干和磨碎后,过1.00 mm筛,使用0.50 mol/L NaHCO<sub>3</sub>浸提-钼锑抗比色法测定土壤有效磷含量<sup>[20]</sup>。第120天的土样磨碎,过0.15 mm筛,参照《土壤农化分析》,使用蒋柏藩

和顾益初提出的石灰性土壤无机磷分级方法,测定各形态无机磷<sup>[20]</sup>。土壤有效磷和无机磷形态的测定使用仪器均为分光光度计,无机磷总量为各形态无机磷之和。

#### 1.4 数据处理与统计方法

采用 Excel 2003 软件进行数据整理和图形绘制, R-3. 6. 3 软件进行数据的单因素方差分析<sup>[21]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 灌耕灰漠土有效磷含量与培养时间的关系

回归分析结果表明, MAP 和 APP 一次性滴施处理(MAP-D 和 APP-D)不同土层有效磷含量和培养时间之间均无显著关系( $P > 0.05$ )(图 2), 二者 5~10 cm 土层有效磷含量随培养时间呈现增长的趋势。3 种磷肥基施处理(TSP、MAP-B 和 APP-B), 有效磷含量在 0~5、5~10 和 10~20 cm 土层均呈现线性降低、指数降低和先增加后降低的多种变化趋势, 除了 APP-B 处理在 10~20 cm 土层无显著关系外(图 2)。以上结果表明 3 种磷肥基施处理的 0~20 cm 土层有效磷含量随培养时间显著降低, MAP 和 APP 一次性滴施处理的 5~10 cm 土层有效磷含量随培养时间呈现增长的趋势。

### 2.2 磷肥品种和施用方式对灌耕灰漠土有效磷含量的影响

施磷显著提高了灌耕灰漠土有效磷含量, 不同磷肥品种对其无显著影响, 不同磷肥施用方式对其影响显著(图 3)。3 种磷肥基施处理 0~5、5~10 和 10~20 cm 土层有效磷含量均无显著差异。与 MAP 和 APP 基施处理相比, 二者一次性滴施处理均能显著提高 0~5 cm 土层有效磷含量, 分别提高 3.77 和 3.04 倍; 但 5~10 和 10~20 cm 土层有效磷含量均显著降低。APP-D 处理 5~10 cm 土层有效磷含量显著高于 MAP-D 处理, 二者有效磷含量在其他土层(0~5 和 10~20 cm)无显著差异。

### 2.3 磷肥品种和施用方式对灌耕灰漠土无机磷总量的影响

施磷提高了灌耕灰漠土无机磷总量, 不同磷肥品种对其无显著影响, 不同磷肥施用方式对其影响显著(表 2)。3 种磷肥基施处理 3 个土层无机磷总量无显著差异, 除了 TSP 处理的 10~20 cm 土层无机磷总量较 APP-B 处理显著提高

9.27%。与 MAP 和 APP 基施处理相比, 二者一次性滴施处理 0~5 cm 土层无机磷总量分别均显著提高 39.02% 和 29.39%; 10~20 cm 土层无机磷总量均显著降低。

### 2.4 磷肥品种和施用方式对灌耕灰漠土无机磷形态的影响

不施磷处理灌耕灰漠土中无机磷均以  $Ca_{10}$ -P 和 O-P 为主, 分别占无机磷总量的 47.94% 和 23.76%; 其次是  $Ca_8$ -P、Al-P 和 Fe-P, 分别占无机磷总量的 15.06%、7.00% 和 4.95%; 最后是  $Ca_2$ -P, 占无机磷总量的 1.28%(表 3)。

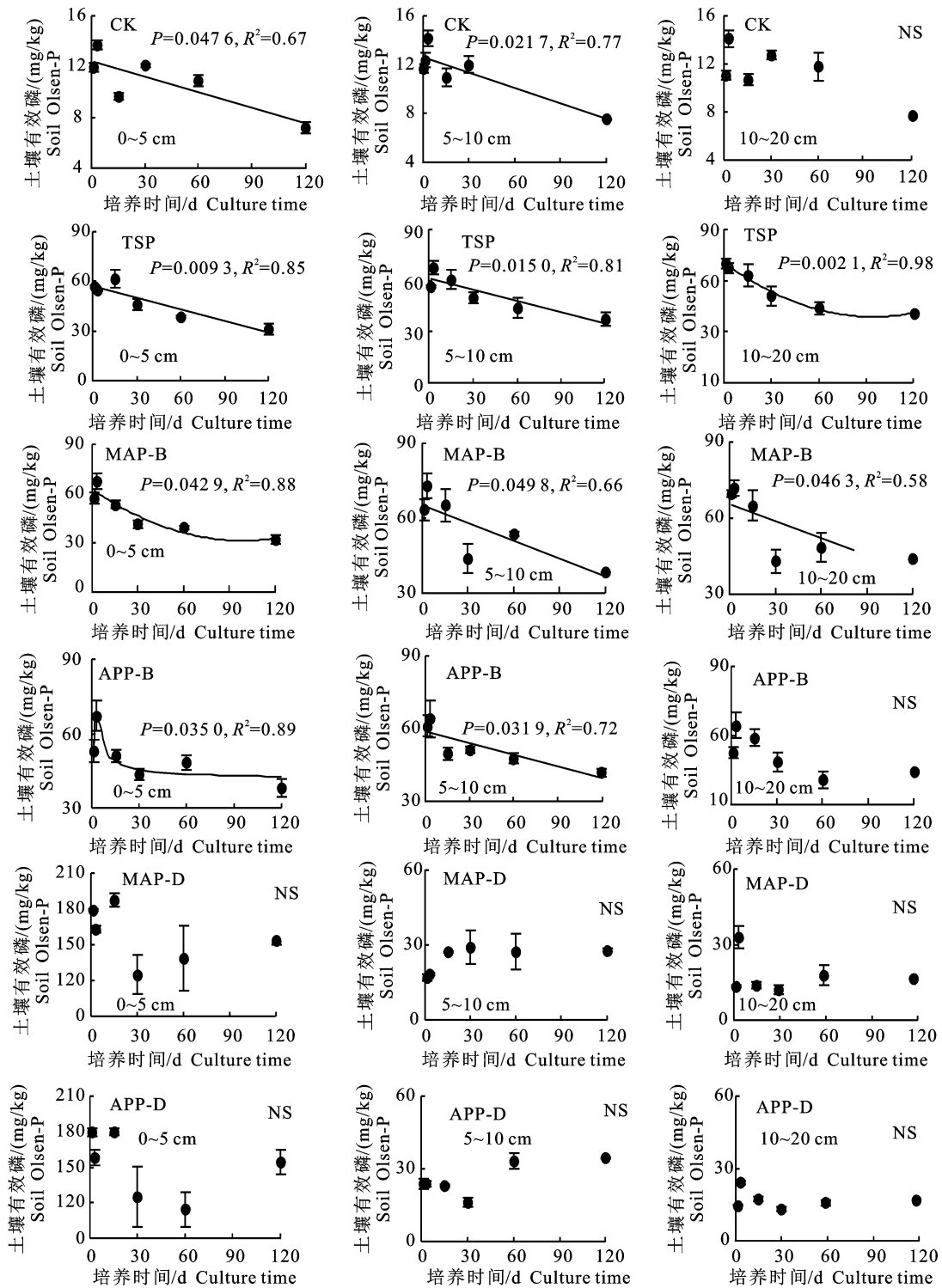
施磷使各形态无机磷的比例产生不同程度的变化(表 3)。与 CK 处理相比, 3 种磷肥基施处理(TSP、MAP-B、APP-B)均提高了 0~5、5~10 和 10~20 cm 土层  $Ca_2$ -P、 $Ca_8$ -P、Al-P 和 Fe-P 的比例(表 3)。三者之间的  $Ca_2$ -P、 $Ca_8$ -P、Al-P 和 Fe-P 的比例均无显著差异, 除了 MAP-B 处理较 TSP 和 APP-B 处理显著提高了 5~10 cm 土层 Al-P 含量; 同时显著提高了 5~10 和 10~20 cm 土层 Fe-P 含量。在 3 个土层 TSP 处理的 O-P 含量高于 MAP-B 和 APP-B 处理,  $Ca_{10}$ -P 的含量低于二者, 表明 3 种磷肥基施时, O-P 和  $Ca_{10}$ -P 互相转化。

磷肥一次性滴施显著提升了 0~5 cm 土层的供磷能力(表 3)。与 MAP 和 APP 基施处理相比, 二者一次性滴施处理均显著提高 0~5 cm 土层  $Ca_2$ -P 和  $Ca_8$ -P 占无机磷总量的比例,  $Ca_2$ -P 分别提高 1.59 和 0.96 倍,  $Ca_8$ -P 分别提高 0.38 和 0.19 倍; 二者一次性滴施处理均显著降低  $Ca_{10}$ -P 的比例, 分别降低 0.52 和 0.30 倍(表 3)。二者一次性滴施处理的 5~10 和 10~20 cm 土层  $Ca_2$ -P 的比例均显著低于其基施处理。MAP-D 处理的 5~10 cm 土层 Al-P 和 Fe-P 的比例显著低于 MAP-B 处理, APP-D 处理的 5~10 cm 土层 Fe-P 的比例显著低于 APP-B 处理。

## 3 讨论

### 3.1 磷肥品种和施用方式对灌耕灰漠土有效磷和无机磷总量的影响

有效磷是表征判断土壤肥力的重要指标, 有研究表明施磷肥进红壤后, 有效磷含量在前 3 h 以直线关系下降, 之后以渐减性曲线下降<sup>[22]</sup>。本研究获得相似的结果, 3 种磷肥基施处理(TSP、MAP-B 和 APP-B)的有效磷含量随培养时间显



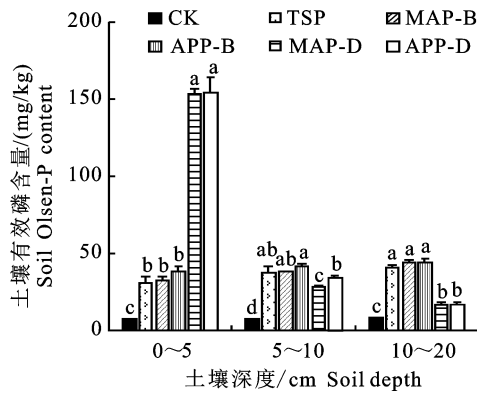
图中数据表示平均值±标准误,下同; NS表示 Olsen-P 含量和培养时间无显著关系

The data in the figure indicate mean±se, the same below; NS indicates that the Olsen-P contents and culture time have no significant relationship

图 2 灌耕灰漠土有效磷含量与培养时间的关系

Fig. 2 Relationship between contents of Olsen-P and culture time in irrigated grey desert soil





图中不同小写字母表示不同处理间的差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ ), 下同

Different lowercase letters above the bars indicate significant differences among different treatments ( $P < 0.05$ ), the same below

图 3 不同处理灌耕灰漠土有效磷含量

Fig. 3 Olsen-P content in irrigated gray desert soil under different treatments

表 3 各形态无机磷占灌耕灰漠土无机磷总量的比例 ( $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ )

Table 3 Proportion for each form of inorganic phosphorus in total inorganic phosphorus amount in irrigated grey desert soil

土层/cm Soil layer	处理 Treatment	Ca <sub>2</sub> -P	Ca <sub>8</sub> -P	Al-P	Fe-P	O-P	Ca <sub>10</sub> -P	%
0~5	CK	1.39±0.06 d	15.69±0.86 d	7.05±0.31 c	5.08±0.13 a	25.53±0.81 a	45.27±1.49 bc	
	TSP	3.86±0.95 c	17.52±0.68 bcd	7.73±0.51 bc	5.22±0.40 a	21.83±1.82 ab	43.84±2.40 c	
	MAP-B	4.99±0.67 c	18.39±0.88 bc	8.84±0.77 b	5.20±0.49 a	12.75±3.24 c	49.82±2.10 ab	
	APP-B	5.18±0.52 c	16.59±0.43 cd	7.77±0.35 bc	5.30±0.21 a	13.15±0.79 c	52.01±1.24 a	
	MAP-D	12.94±0.68 a	25.39±1.51 a	6.92±0.45 c	4.78±0.21 ab	17.26±0.83 bc	32.72±1.12 d	
	APP-D	10.15±1.41 b	19.87±0.58 b	13.47±0.13 a	3.81±0.27 b	16.43±0.32 c	36.28±0.42 d	
5~10	CK	1.22±0.10 c	14.19±0.95 c	6.72±0.47 c	4.84±0.22 bcd	23.27±1.57 a	49.78±1.12 a	
	TSP	5.26±0.53 a	19.00±1.09 a	7.26±0.46 bc	5.71±0.26 b	18.72±1.34 a	44.06±1.59 b	
	MAP-B	5.08±0.19 a	16.83±0.51 abc	9.28±0.32 a	6.62±0.53 a	12.98±1.42 b	49.21±1.31 ab	
	APP-B	6.15±0.40 a	17.45±0.97 abc	7.40±0.26 bc	5.16±0.31 bc	13.71±2.00 b	50.13±2.20 a	
	MAP-D	3.28±0.21 b	17.94±1.58 ab	7.50±0.41 bc	4.58±0.24 cd	20.55±0.71 a	46.16±1.59 ab	
	APP-D	2.64±0.65 b	15.70±0.74 bc	8.47±0.77 ab	4.03±0.07 d	19.83±2.67 a	49.32±2.53 a	
10~20	CK	1.23±0.08 c	15.32±0.29 b	7.23±0.39 a	4.95±0.26 bc	22.50±0.55 a	48.78±0.96 a	
	TSP	6.57±0.77 a	18.62±0.30 a	7.95±0.93 a	5.58±0.36 ab	20.74±2.03 a	40.54±1.99 b	
	MAP-B	5.62±0.31 a	17.40±0.94 ab	8.67±0.19 a	5.78±0.18 a	15.29±2.47 bc	47.25±1.73 a	
	APP-B	6.48±0.37 a	16.36±0.41 ab	9.07±1.12 a	5.27±0.32 abc	11.79±2.51 c	51.04±1.62 a	
	MAP-D	2.60±0.25 b	17.73±2.17 ab	7.79±0.59 a	4.73±0.17 c	18.38±0.44 ab	48.78±2.16 a	
	APP-D	1.50±0.08 bc	17.37±0.21 ab	7.62±0.39 a	4.54±0.05 c	18.35±1.07 ab	50.63±1.05 a	

著降低, 究其原因这是由于土壤中对磷的固定, 但 3 种磷肥基施处理的有效磷含量呈现线性降低、指数降低和先增加后降低的变化趋势, 可能是因为不同磷肥在土壤中的固定率存在差异<sup>[23]</sup>, 还可能

表 2 不同处理灌耕灰漠土无机磷总量 ( $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$ )

Table 2 Total inorganic phosphorus amount in irrigated grey desert soil under different treatments mg/kg

处理 Treatment	土层深度/cm Soil depth		
	0~5	5~10	10~20
CK	476.20±6.16 c	493.19±17.12 c	477.50±14.25 d
TSP	527.85±19.51 bc	582.39±14.60 a	586.46±9.00 a
MAP-B	540.12±22.77 b	555.10±8.50 ab	558.95±9.06 ab
APP-B	560.11±16.81 b	563.14±8.64 ab	536.72±24.45 bc
MAP-D	750.86±6.63 a	524.99±7.39 bc	473.87±10.98 d
APP-D	724.71±27.50 a	524.89±19.37 bc	507.02±11.03 cd

注: 同列数据后不同小写字母表示不同处理间的差异达到显著水平 ( $P < 0.05$ ), 下同。

Note: Different lowercase letters after the data within the same columns indicate significant differences among different treatments ( $P < 0.05$ ), the same below.

与土层的不同有关。此外第 120 天 3 种磷肥基施处理的有效磷含量和无机磷总量均无显著性差异, 表明此时 3 种磷肥补充土壤磷库的能力相同。

大量研究认为磷肥分次滴施处理的土壤有效

磷含量高于基施<sup>[12,24-25]</sup>,但关于一次性滴施对有效磷的影响的研究较少。本研究中磷肥一次性滴施和基施处理对有效磷和无机磷总量的影响不同,与 MAP 和 APP 基施处理相比,二者一次性滴施处理均只显著提高 0~5 cm 土层有效磷含量和无机磷总量,土壤磷素主要集中在 0~5 cm 土层。究其原因可能是由于灰漠土是石灰性土壤,滴施的磷肥易被固定<sup>[26]</sup>,其移动性较弱导致,亢龙飞等<sup>[27]</sup>也发现与一次性滴施相比,聚磷酸分次滴施增加的移动距离仅有 5 mm。

### 3.2 磷肥品种和施用方式对灌耕灰漠土无机磷形态的影响

不施磷处理灌耕灰漠土中无机磷以  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  和  $\text{O-P}$  为主,其次是  $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al-P}$  和  $\text{Fe-P}$ ,最后是  $\text{Ca}_2\text{-P}$ ,这和张倩等<sup>[28]</sup>在陕北的黄绵土上的研究结果一致。施磷使各形态无机磷含量和比例产生不同程度的变化<sup>[29]</sup>。柴立涛等<sup>[30]</sup>研究发现施用磷肥提高了盐碱土水田土壤中  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al-P}$  和  $\text{Fe-P}$  的含量。王海龙等<sup>[31]</sup>研究发现施用磷肥可提高  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al-P}$  和  $\text{Fe-P}$  占无机磷总量的比例。这与本研究的结果相似,3 种磷肥基施处理均提高 0~20 cm 土层的  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al-P}$  和  $\text{Fe-P}$  的比例。但三者的  $\text{O-P}$  和  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  相互转化,可能是因为  $\text{O-P}$  的形成和土壤钙沉积相关,灌耕灰漠土中  $\text{Ca-P}$  含量较高,形成  $\text{Ca-P}$  的羟基磷灰石会随  $\text{O-P}$  而变化<sup>[32]</sup>。

褚贵新等<sup>[15]</sup>研究表明液体磷肥分次滴施增加  $\text{Ca}_2\text{-P}$  和  $\text{Ca}_8\text{-P}$  含量,提升了土壤供磷能力。本研究获得相似的结果,与 MAP 和 APP 基施处理相比,二者一次性滴施处理显著提高 0~5 cm 土层的  $\text{Ca}_2\text{-P}$  和  $\text{Ca}_8\text{-P}$  占无机磷总量的比例,显著降低  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  的比例,提升了 0~5 cm 土层的灌耕灰漠土供磷能力。

## 4 结论

灰漠土是新疆重要的耕地资源之一,不施磷处理灌耕灰漠土中无机磷以  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  和  $\text{O-P}$  为主,其次是  $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al-P}$  和  $\text{Fe-P}$ ,最后是  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 。3 种磷肥基施处理 0~20 cm 土层有效磷含量随培养时间显著降低,但 3 种磷肥基施处理 0~20 cm 土层灰漠土有效磷含量、无机磷总量以及  $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al-P}$ 、 $\text{Fe-P}$  的比例均增加,表明 0~20 cm 土层的土壤供磷能力提升;与基施处理相比,MAP 和 APP 一次性滴施处理只提升了 0~5 cm

土层的土壤供磷能力。重过磷酸钙基施,能提高 0~20 cm 土层的灌耕灰漠土的供磷能力,同时价格较低,推荐在生产中施用。

### 参考文献 Reference:

- [1] 俄胜哲,杨志奇,曾希柏,等.长期施肥黄绵土有效磷含量演变及其与磷素平衡和作物产量的关系[J].应用生态学报,2017,28(11):3589-3598.  
E SH ZH, YANG ZH Q, ZENG X B, et al. Soil Olsen-P content changing trend and its relationship with phosphorus surplus and crop yield under long-term fertilization in loessial soil region on the Loess Plateau, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(11): 3589-3598.
- [2] MEDINSKI T, FREESE D, REITZ T. Changes in soil phosphorus balance and phosphorus use efficiency under long-term fertilization conducted on agriculturally-used Chernozem in Germany [J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2018, 98(4): 650-662.
- [3] 刘建玲,李仁岗,张风华.栗钙土中磷肥转化及效应的研究[J].植物营养与肥料学报,1996,2(3):206-211.  
LIU J L, LI R G, ZHANG F H. Transformation of applied phosphorus and yield response of naked oat to P fertilizer in chestnut soil [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1996, 2(3): 206-211.
- [4] 张鑫,邢玥,刘照霞,等.氮磷配施对苹果幼苗生长、土壤无机磷形态和磷素利用的影响[J].水土保持学报,2021,35(4):237-242.  
ZHANG X, XING Y, LIU ZH X, et al. Effects of combined application of nitrogen and phosphorus fertilizer on apple rootstock seedling growth, soil inorganic phosphorus forms and phosphorus utilization [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2021, 35(4): 237-242.
- [5] 张泽兴.北方主要农作物种植区典型土壤无机磷形态分布特征及其有效性[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2021.  
ZHANG Z X. Distribution characteristics and availability of inorganic phosphorus forms in typical soils of main crop growing areas in northern China [D]. Yangling Shaanxi: Northwest A&F University, 2021.
- [6] 吉冰洁,李文海,徐梦洋,等.不同磷肥品种在石灰性土壤中的磷形态差异[J].中国农业科学,2021,54(12):2581-2594.  
JI B J, LI W H, XU M Y, et al. Varying synthetic phosphorus varieties lead to different fractions in calcareous soil [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(12): 2581-2594.
- [7] WANG J, CHU G X. Phosphate fertilizer form and application strategy affect phosphorus mobility and transformation in a drip-irrigated calcareous soil [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2015, 178(6): 914-922.
- [8] 李中阳,樊向阳,齐学斌,等.再生水灌溉对不同土壤磷形态变化的影响[J].水土保持学报,2014,28(3):232-235, 258.

- LI ZH Y, FAN X Y, QI X B, *et al.* Effects of reclaimed wastewater irrigation on phosphorus conversion in different types of soils [J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2014, 28(3): 232-235, 258.
- [9] 崔继荣, 高永峰. 我国磷化工发展现状及措施建议[J]. 肥料与健康, 2020, 47(4): 1-4.
- CUI J R, GAO Y F. Development status of phosphorus chemical industry in China and suggestions for development measures[J]. *Fertilizer & Health*, 2020, 47(4): 1-4.
- [10] 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.
- CHEN B L, SHENG J D, JIANG P A, *et al.* Effect of applying different forms and rates of phosphoric fertilizer on phosphorus efficiency and cotton yield[J]. *Cotton Science*, 2010, 22(1): 49-56.
- [11] 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.
- LI Q J, ZHANG Y, HARLHAX Y, *et al.* Phosphorus utilization efficiency and yield responses of drip irrigated cotton under plastic film mulching to three types of water soluble phosphorus fertilizers [J]. *Cotton Science*, 2018, 30(2): 172-179.
- [12] 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.
- MA D, ZHAO K, SHAMUHEBIEKE A, *et al.* Effects of phosphate fertilizer types and application methods on phosphorus utilization and cotton yield in Xinjiang cotton field[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2020, 38(2): 86-92.
- [13] 李青军, 张 炎, 哈丽哈什·依巴提, 等. 棉花高产和磷高效的磷肥基施追施配合技术研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 146-153.
- LI Q J, ZHANG Y, HARLHAX Y, *et al.* Basal and top-dressing application technology of phosphate fertilizer for high cotton yield and high phosphorous efficiency in Xinjiang[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(1): 146-153.
- [14] 王小华, 闫 宁, 张 营, 等. 聚磷酸铵对石灰性土壤有效磷含量和无机磷形态分布的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(10): 64-72.
- WANG X H, YAN N, ZHANG Y, *et al.* Effect of ammonium polyphosphate application on available phosphorus content and inorganic phosphorus distribution in calcareous soils[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2021, 49(10): 64-72.
- [15] 褚贵新, 李明发, 危常州, 等. 固体磷肥和液体磷肥对石灰性土壤不同形态无机磷及磷肥肥效影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 358-365.
- CHU G X, LI M F, WEI CH ZH, *et al.* Influence of liquid and granular phosphorus fertilizer on soil inorganic phosphorus fractions and fertilizer efficiency in calcareous soil [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(2): 358-365.
- [16] 刘文惠. 1980 年和 2014 年北疆四种典型土壤有机质、全氮和全磷的对比变化研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.
- LIU W H. Change of SOM TN and TP in four soil great group of northern Xinjiang in 1980-2014[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2016.
- [17] 徐万里, 刘 骅, 王讲利. 长期定位施肥对无机磷形态转化及其有效性的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2001, 24(2): 40-44.
- XU W L, LIU H, WANG J L. Effect of long-time fixture on the soil inorganic phosphor forms and validity in grey desert soil[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2001, 24(2): 40-44.
- [18] 韩超群, 刘 瑾, 杨建军, 等. 柠檬酸对不同施肥处理灰漠土遗留磷的活化特征[J]. 中国生态农业学报, 2020, 28(12): 1941-1948.
- HAN CH Q, LIU J, YANG J J, *et al.* Citric acid-mediated mobilization of legacy phosphorus in fertilized grey desert soil [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(12): 1941-1948.
- [19] 王 斌, 刘 骅, 马义兵, 等. 长期施肥对灰漠土无机磷组分的影响[J]. 土壤通报, 2017, 48(4): 917-921.
- WANG B, LIU H, MA Y B, *et al.* Effect of long-term fertilization on fractions of inorganic phosphorus in grey desert soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2017, 48(4): 917-921.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 58-66.
- BAO SH D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis [M]. 3rd Edition. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 58-66.
- [21] R DEVELOPMENT CORE TEAM. A language and environment for statistical computing[M]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012: 31-43.
- [22] 鲁如坤, 时正元, 钱承梁. 磷在土壤中有有效性的衰减[J]. 土壤学报, 2000, 37(3): 323-329.
- LU R K, SHI ZH Y, QIAN CH L. Decline of phosphorus availability with time in soils[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(3): 323-329.
- [23] 王晓红, 柳小琪, 吴璐璐, 等. 3 种磷肥在北方 6 种土壤中的吸持固定特点[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2020, 41(4): 75-81.
- WANG X H, LIU X Q, WU L L, *et al.* Adsorption and fixation characteristics of three kinds of phosphate fertilizers in six soils in northern China[J]. *Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science)*, 2020, 41(4): 75-81.
- [24] 王 静. 不同施肥策略对磷在土壤中移动、转化及磷肥利

- 用率的影响[D]. 新疆石河子:石河子大学,2016.
- WANG J. Effects of phosphate fertilizer application strategies on soil P mobility, transformation and P use efficiency on calcareous soil[D]. Shihezi Xinjiang: Shihezi University, 2016.
- [25] 王 珍,李久生,栗岩峰,等. 磷肥施入方式对土壤速效磷含量及玉米生长的影响[J]. 排灌机械工程学报,2018,36(10):1023-1028.
- WANG ZH, LI J SH, LI Y F, *et al.* Effects of phosphorus fertigation on distribution of Olsen-P in soil and yield of maize[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2018, 36(10):1023-1028.
- [26] 尹金来,曹翠玉,史瑞和,徐淮地区石灰性土壤磷素固定的研究[J]. 土壤学报,1989,26(2):131-138.
- YIN J L, CAO C Y, SHI R H. Study on the phosphorus fixation of calcareous soils in Xuhuai districts[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1989, 26(2):131-138.
- [27] 亢龙飞,王 静,朱丽娜,等. 不同形态磷酸盐及施用方式对石灰性土壤磷移动性和有效性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2020,26(7):1179-1187.
- KANG L F, WANG J, ZHU L N, *et al.* Mobility and availability of phosphate under different phosphate sources and application methods in calcareous soils[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2020, 26(7):1179-1187.
- [28] 张 倩,张素霞,刘 克,等. 陕北不同土地利用类型下土壤无机磷形态分布及有效性研究[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(4):133-136.
- ZHANG Q, ZHANG S X, LIU K, *et al.* Inorganic phosphorus fractionation and availability on different kinds of planting conditions of soil in Northern Shaanxi[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, 29(4):133-136.
- [29] 杜 伟,赵秉强,林治安,等. 有机复混磷肥对石灰性土壤无机磷形态组成及其变化的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(6):1388-1394.
- DU W, ZHAO B Q, LIN ZH A, *et al.* Effects of organic and inorganic phosphorus compound fertilizer on transformation of inorganic phosphorus pool in lime soils[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(6):1388-1394.
- [30] 柴立涛,耿玉辉,宋引弟,等. 施磷对吉林省西部盐碱土水田土壤无机磷组分的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(6):197-201.
- CHAI L T, GENG Y H, SONG Y D, *et al.* Effects of phosphate fertilizer on inorganic phosphorus of saline-alkalipaddy soil in the western of Jilin Province[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 29(6):197-201.
- [31] 王海龙,张 民,刘之广,等. 多年定位试验条件下不同施磷水平对土壤无机磷分级的影响[J]. 水土保持学报,2018,32(5):318-324.
- WANG H L, ZHANG M, LIU ZH G, *et al.* Effects of different phosphorus application levels on the inorganic phosphorus fraction under multi-year location experiment[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(5):318-324.
- [32] 张 虹,于姣姐,李海洋,等. 不同栽植代数杉木人工林土壤磷素特征研究[J]. 林业科学研究,2021,34(1):10-18.
- ZHANG H, YU J D, LI H Y, *et al.* Characteristics of soil phosphorus in *Cunninghamia lanceolata* plantations with different planting rotations[J]. *Forest Research*, 2021, 34(1):10-18.

## Effects of Phosphate Fertilizer and Application Methods on Olsen-P and Inorganic Phosphorus Form in Irrigated Grey Desert Soil

GONG Huidie, WANG Xueyan, WANG Yuying,  
SHENG Jiandong and CHENG Junhui

(College of Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University/Xinjiang Key Laboratory of  
Soil and Plant Ecological Processes, Urumqi 830052, China)

**Abstract** In order to apply phosphorus fertilizer reasonably in irrigated grey desert soil, six treatments were set up through soil culture test to study the effects of phosphate fertilizers and application methods on soil Olsen-P and inorganic phosphorus forms. The six treatments include no phosphate fertilizer (CK), the basal application of triple super phosphate (TSP-B), the basal application of mono-ammonium phosphate (MAP-B), the basal application of ammonium polyphosphate (APP-B), the one time drip application of mono-ammonium phosphate (MAP-D) and the one time drip application of ammonium phosphate (APP-D). The results indicate that the content of Olsen-P in 0—20 cm soil layer was significantly reduced with the culture time under basal application of 3 kinds of phosphate fertilizers (TSP, MAP-B and APP-B), and the contents of Olsen-P in 5—10 cm soil layer treat-



ted with MAP and APP through one time drip application (MAP-D and APP-D) had trended increasingly with the culture time. The  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  and O-P were the main inorganic phosphorus in irrigated grey desert soil under no application of phosphate fertilizer, which accounted for 47.94% and 23.76% of the total inorganic phosphorus amount, respectively. The basal application of 3 kinds of phosphate fertilizers could improve the contents of Olsen-P, the total inorganic phosphorus amount and the proportion of  $\text{Ca}_2\text{-P}$ ,  $\text{Ca}_8\text{-P}$ , Al-P and Fe-P in 0–20 cm soil layer in irrigated grey desert soil, but the above contents and the proportion had no significant difference among TSP, MAP-B and APP-B. Compared with basal application of MAP and APP, one time drip application only significantly improved the contents of Olsen-P in 0–5 cm soil layer of grey desert soil, total inorganic phosphorus amount and the proportion of  $\text{Ca}_2\text{-P}$  and  $\text{Ca}_8\text{-P}$ , significantly reduced the proportion of  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ , and boosted the phosphorus supply ability of 0–5 cm soil layer. To sum up, the basal application of 3 kinds of phosphate fertilizers can enhance the phosphorus supply ability of 0–20 cm soil layer, and the one time drip application of MAP and APP only significantly boosts the soil phosphorus supply ability of 0–5 cm soil layer. Therefore, in production practice, it is suggested selecting the cheap triple super phosphate basal application.

**Key words** Phosphate fertilizers; Application methods; Olsen-P; Inorganic phosphorus forms; Irrigated grey desert soil

**Received** 2022-01-18

**Returned** 2022-05-11

**Foundation item** National Key R&D Program(No. 2017YFD0200205-6); Major Scientific and Technological Project of the Xinjiang Uygur Autonomous Region (No. 2020A01002-3); Postgraduate Innovation Project of the Xinjiang Uygur Autonomous Region (No. XJ2021G166).

**First author** GONG Huidie, female, master student. Research area: edaphology. E-mail: ghdlwxw@163.com

**Corresponding author** CHENG Junhui, male, associate professor, master supervisor. Research area: ecology. E-mail: cjhgraymice@126.com

(责任编辑: 史亚歌 **Responsible editor: SHI Yage**)