

磷肥和钾肥不同配施方式对其养分在土壤中迁移的影响

黄丽^{1,3}, 范兴科^{1,2}

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 采用单点源滴灌试验方法, 模拟滴灌条件下磷(P)、钾(K)肥作为基肥一次施入和随水分施入两种不同的配施方式下速效 P、K 含量在土壤中的时空分布变化情况。结果表明: 对于可溶性较好的磷、钾肥作为基肥施入土壤后, 均随着滴灌水的水下渗透而发生迁移, 速效磷的高值区出现在湿润区的边缘附近, 速效钾则比较均匀的分布在湿润区内; 随水分施磷肥, 仅在湿润区深度 20 cm, 水平方向 15 cm 以内的土层发生积累。在施加磷肥总量一致时, 随水分施入土壤速效磷含量的最大值明显高于作为基肥施入的最大值; 随水分施钾肥, 速效钾在土壤中的分布也趋于均匀, 但是在滴水点附近形成高值区, 且随水分施钾肥可在一定程度上减缓速效钾在土壤中的迁移速度。

关键词: 滴灌; 不同配施方式; 速效磷; 速效钾; 分布

中图分类号: S158.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)02-0184-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.02.027

The Effects of Phosphate and Potash Fertilizers in Different Facilities on Soil Nutrient Migration

HUANG Li^{1,3}, FAN Xingke^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences,

Yangling, Shaanxi 712100; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F

University, Yangling, Shaanxi 712100; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: A single-point irrigation installation was used to simulate drip irrigation, where the effects of different fertilization methods on soil nutrient migration were studied. Two application methods of phosphate (P) and potash (K) fertilizers were designed: applied before irrigation as base fertilizer and applied with irrigation water, and the temporal and spatial distributions of soil P and K after drip irrigation were observed. The results showed that the soluble P and K fertilizers were migrated with the infiltration of drip irrigation, and the high value of available P appeared near the edge of the wet zone, while the available K evenly distributed in the moist area. Soil P accumulated only in the wet zone depth of 20 cm and the horizontal direction of 15 cm within the soil caused by the water flow. When the total application amount of P fertilizer was consistent, the maximum content of available P in soil applied with water was significantly higher than that applied as base fertilizer. When applied with water, the distribution of available K in soil was also uniform, whereas high value area was formed near the drip point. Applying K fertilizer with irrigation water could slow down the migration rate of available K to a certain extent.

Keywords: drip irrigation; different drip irrigation conditions; available phosphorus; available potassium; distribution

随着高产、高效农业的发展, 化肥在我国农业中占有十分重要的地位。然而由于受土壤与生产环境的综合影响, 普遍存在化肥利用率低下的问题。研究

结果表明, 目前我国化肥的当季利用率相当低, N 为 30%~35%, P 为 10%~20%, K 为 30%~35%^[1]。化肥利用率低下不仅造成经济损失, 而且还引起化肥

淋失污染地下水等一系列较为严重的环境污染问题^[2]。因此,如何提高化肥的利用率从而带来作物高产的同时又减少环境污染,成为了灌溉施肥领域内一大值得关注的问题。

水肥一体化灌溉不仅使得水肥同时施入,而且灌水量和施肥量都为可控,为农田水肥高效利用提供技术保障^[3]。目前对灌溉施肥的研究主要集中在灌溉施肥制度方面,即根据作物的生长发育过程和对营养的需求研究施肥时间(生育阶段)和施肥量^[4]。亓沛沛等^[5]研究了不同灌溉模式对于干旱区耕地土壤养分及其分布的影响,得出了耕层土壤铵态氮质量浓度受灌溉方式影响比较显著,而速效磷、钾均不显著;陈云^[6]、王家平等^[7]、薛冯定^[8]以及尹飞虎等^[9]研究了在滴灌条件种植棉花的情况下施肥对土壤养分分布的影响,发现灌水量和施肥量对株高的影响比较显著;苏木德^[10]和徐林等^[11]研究了滴灌条件下不同调控措施对马铃薯以及甘蔗根系中土壤速效养分分布的影响,得出了滴灌施肥技术的合理应用可以使马铃薯的块茎产量显著增加;黄耀华^[12]研究得出滴灌施肥条件下氮(N)、磷(P)、钾(K)在紫色土中迁移分布规律,研究表明在滴灌施肥条件下,硝态氮易发生溶质运移作用,几乎可随水分同步到达土壤湿润峰处,铵态氮和钾肥具有相似的迁移扩散规律,均以表层滴头处大量聚集为主,而有效磷的迁移能力则介于硝、铵态氮之间;王旭洋^[4]通过模拟试验得出在滴灌条件下不同施肥时段氮素在土壤湿润体中的分布范围;王静等^[13]通过水磷一体化对磷素有效性与磷肥利用率的影响研究得出固体磷肥易被土壤固定,其移动性很差,而液体磷肥随水施用过程中磷的扩散与土壤水移动方向一致,使施入的磷在土壤中分布较为均匀,故具有较好的移动性。氮、磷、钾作为主要的土壤肥力因子,在作物生长过程中的作用不同,氮肥属于速效肥,通常作为追肥使用,生育期内使用频次较高;而磷、钾肥对作物生长短期效果不是很明显,具有隐形作用,所以通常作为基肥使用。且土壤对磷的固定能力较强,特别是在高度风化的酸性土壤或钙质土壤上,因此一般认为磷不会淋溶或淋失并不重要^[14-15];钾素作为植物营养的三大营养元素之一,对作物的高产、优质和抗逆性具有举足轻重的作用^[16-17]。但是作为基肥使用,一次施肥量要求较大,较大的降雨量或灌溉量均可能造成肥力淋失和肥料利用效率低的问题。随着水肥一体化技术的不断发展,磷、钾随水施肥成为可能。因此,探寻滴灌条件下提高磷、钾肥料利用率的途径有着重要的意义。

1 试验方法与试验设计

1.1 试验方法材料

为了试验起始条件(土壤和水分状况)基本一致,便于结果比较,本研究采用模拟试验方法,用单点源滴水的方法模拟滴灌条件下磷、钾肥不同配施方式对土壤速效 P、K 肥力迁移的影响。试验装置见图 1。试验由铁桶、支架、塑料瓶及滴管 4 部分组成。试验所用土壤取自附近农耕地 0—100 cm 的混合黏壤土,土壤 pH 8,容重 1.30 g/cm^3 ,田间持水量 24%,速效 P 含量 4.47 mg/kg ,速效 K 含量 103.38 mg/kg 。先将试验用土风干,碾细过筛(筛孔径为 2 mm),然后分层填装在直径 65 cm(面积为 0.332 m^2)、高 70 cm 的铁桶内,容重控制在 1.30 g/cm^3 ,填装深度 65 cm。为了不影响水分在土壤中的入渗,桶的底部随机设置 8 个直径为 5 mm 的小孔。

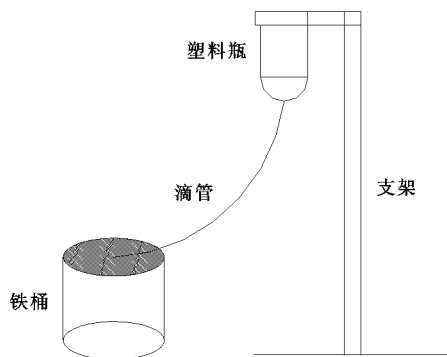


图1 试验装置示意

1.2 试验设计

根据目前可实施的施肥方式,本试验设计 2 种处理:A,磷肥和钾肥作为基肥一次施入;B,磷肥和钾肥分 2 次随滴灌施入,每种施肥处理 3 次重复。试验期间灌水 2 次(第 1 次灌水时间为 2017 年 6 月 13 日),灌水时间间隔按 10~15 天设计。灌水设计计划湿润层深度为 30 cm,湿润半径为 20 cm,灌水上限为田间持水量的 90%。根据土壤物理性质,经过计算,一次最大灌水量为 8 L,选择滴灌流量为 2 L/h ,整个滴灌历时为 4 h,滴头固定在土壤表面中心位置,为了便于处理控制,每个处理配备 4 个 2 L 的塑料瓶容器,用于盛装滴灌用水和水肥混合液。本次试验用肥选择水溶性较好的磷酸二氢铵(MAP)[$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$]和硫酸钾(K_2SO_4),设计施肥量以 P_2O_5 、 K_2O 计算均为 240 kg/hm^2 ,即相当于磷酸二氢铵 390 kg/hm^2 ,硫酸钾 450 kg/hm^2 。A 处理:将 13 g 磷酸二氢铵和 15 g 硫酸钾作为基肥在灌水前 1 天一次性施入 20 cm 土层中,搅拌均匀,研究其在滴灌条件下随着灌溉水在土壤中的运移情况;B 处理:将磷酸二氢铵和硫酸钾分 2 次施用,每次施加磷酸二氢铵 6.50 g,硫酸钾

7.50 g,把这 2 种肥料溶于水之后,每次随着灌溉水一起进入土壤中,研究其在水肥一体化过程中土壤 P、K 肥的时空分布变化规律。

土壤采样共 5 次,分别为:第 1 次灌水前;第 1,2 次灌水 48 h 后以及 12 天后分别采集土样。取样点分别为距离入渗点横向距离 5,15,25 cm 处;距地表纵向深度为 10,20,30,40,50,60 cm 处。土样在室内条件下自然风干,最后统一进行样品处理:经研磨过筛(1 mm 细筛)后每个样品称取 2.50 g,分别以 1 mol/L 碳酸氢钠(NaHCO_3)溶液和醋酸铵(NH_4AC)溶液为浸提液,土水质量比 1:10 浸提,再经振荡处理后过滤,采用钼锑抗钼兰比色法测定土壤中的速效磷含量^[18],火焰分光光度计法测定速效钾含量^[19-20]。

1.3 数据处理

试验数据经 Excel 2010 处理后,使用 Sigmaplot 12.5 进行制图。

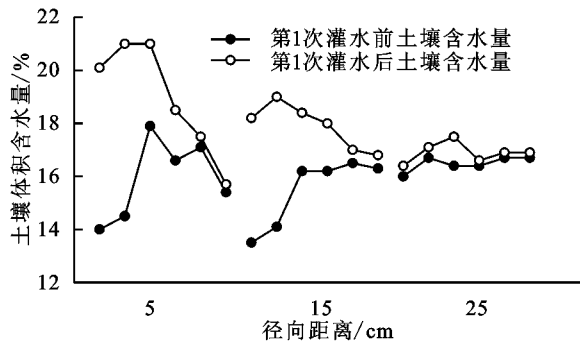


图 2 2 次灌水前后土壤含水量变化

2.2 磷、钾肥基施条件下速效 P、K 在土壤中的时空分布及变化特征

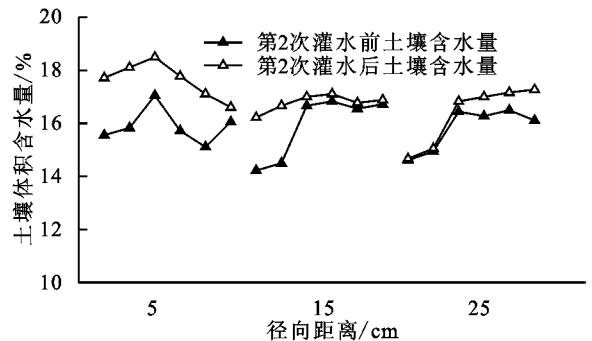
磷肥和钾肥作为基肥均匀施入表层 20 cm 土壤后开始滴灌,经过 48 h 土壤水分入渗和运移,桶内土壤速效磷和速效钾含量的时空分布和变化情况见图 3 和图 4。

从图 3 可以看出,经过 2 次滴灌灌水后,A 处理表层土壤速效磷含量随水分的运移发生了明显迁移变化:第 1 次滴灌 48 h 后,滴水点纵向 20 cm、径向 10 cm 以内湿润区速效磷含量均值仅为 8.00 mg/kg,下降了 4.27 mg/kg,出现了较大幅度的降低;滴水点纵向 20~40 cm、径向 10~20 cm 内速效磷含量 11~14 mg/kg,在原有的基础上增加了 6.5~9.5 mg/kg;但在纵向 40 cm、径向 20 cm 以外,土壤湿润区内速效磷含量略有增加,表明土壤内速效磷具有向下迁移的趋势。经过 10 天土壤水分蒸发和运移变化,桶内土壤的速效磷也随之发生迁移,其含量趋于均匀分布,约为 11 mg/kg,增量达到 6 mg/kg 左右。第 2 次滴灌 48 h 后,土壤湿润体内速效磷含量均降低到了 7 mg/kg,比第 2 次灌水前减少了 4 mg/kg 左

2 结果与分析

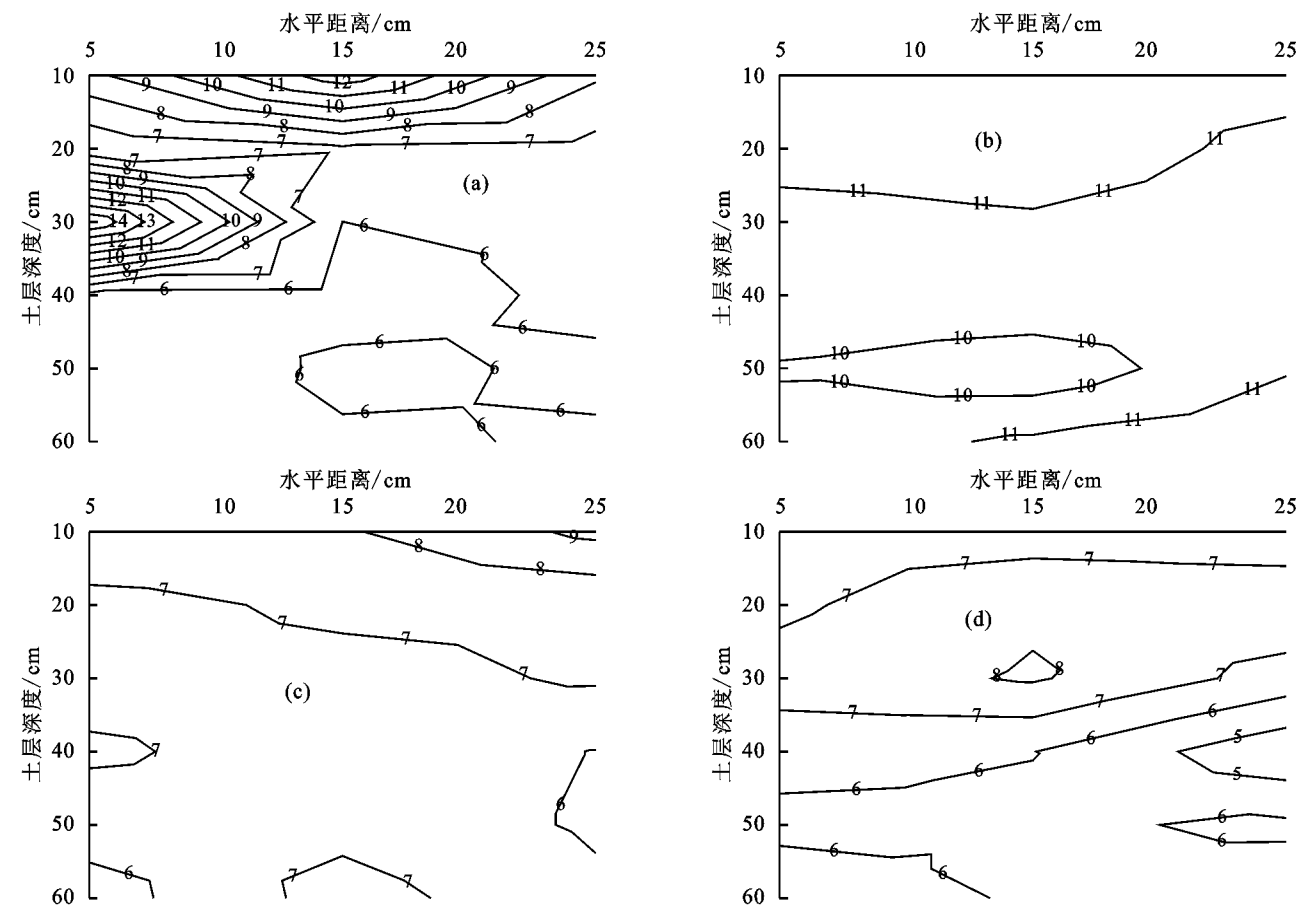
2.1 滴灌灌水前后土壤湿润区的时空变化

为了解灌水后土壤湿润区的变化范围和探寻滴灌条件下水分运移对土壤养分迁移的影响,采用 TRIME AZS-100 对 2 次灌水(间距 12 天)前后土壤含水率的变化进行了测定,得出 2 次灌水前后土壤含水率的时空变化情况,结果见图 2(距离点源横向 5,15,25 cm 处分别测距地表 10,20,30,40,50,60 cm 的含水率)。由图 2 可以看出,第 1 次灌水后,形成了半椭圆形的湿润区。从径向上来看,滴灌湿润区最大扩散至距点源 25 cm 处,而纵向下渗深度在径向 15 cm 以内,土壤湿润区深度达到 50 cm 左右,至径向 25 cm 时,湿润深度则仅下渗至 30 cm 左右处;第 2 次灌水后,相比较第 1 次灌水后来看,湿润区范围在纵向上下移至 60 cm,径向表层则扩散至 20 cm 左右处。



右,此后 10 天一直保持相对稳定的含量。由此说明,尽管磷酸二氢的性质相对比较稳定,土壤对磷肥也有一定的吸附能力,包括发生化学反应产生磷酸钙等难溶性磷酸盐,但是在多次灌水条件下,作为基肥施用的浅层磷肥仍然会向湿润区的外围发生大量迁移,特别是向土壤深层的迁移无疑会造成磷肥的大量流失,降低磷肥的利用效率。

由图 4 可以看出,2 次灌水后,桶内土壤中的速效钾含量也发生了较大变化,但与速效磷的变化过程有很大不同:第 1 次灌水 48 h 后,除表层径向 15 cm 处速效钾含量达到 200 mg/kg 外,上层 20 cm 内的速效钾向土壤深层发生了较大的迁移,20~60 cm 土层内土壤速效钾含量均增加到 160 mg/kg 以上,在原有的基础约增加了 56.62~96.62 mg/kg;此后 10 天及第 2 次灌水后的 12 天内,整个土层内土壤速效钾含量均稳定在 160 mg/kg。说明受水分运移的影响,钾肥非常容易在湿润的土壤发生迁移,也证明了徐林等^[11]在分析蔗地速效养分中以 K^+ 存在于土壤中的钾肥,其移动性很强的结论。



注: (a) 为第 1 次灌水 48 h 后; (b) 为第 1 次灌水 12 天后; (c) 为第 2 次灌水 48 h 后; (d) 为第 2 次灌水 12 天后。下同。

图 3 A 处理下施加磷肥在土壤中随滴灌水的时空运移情况

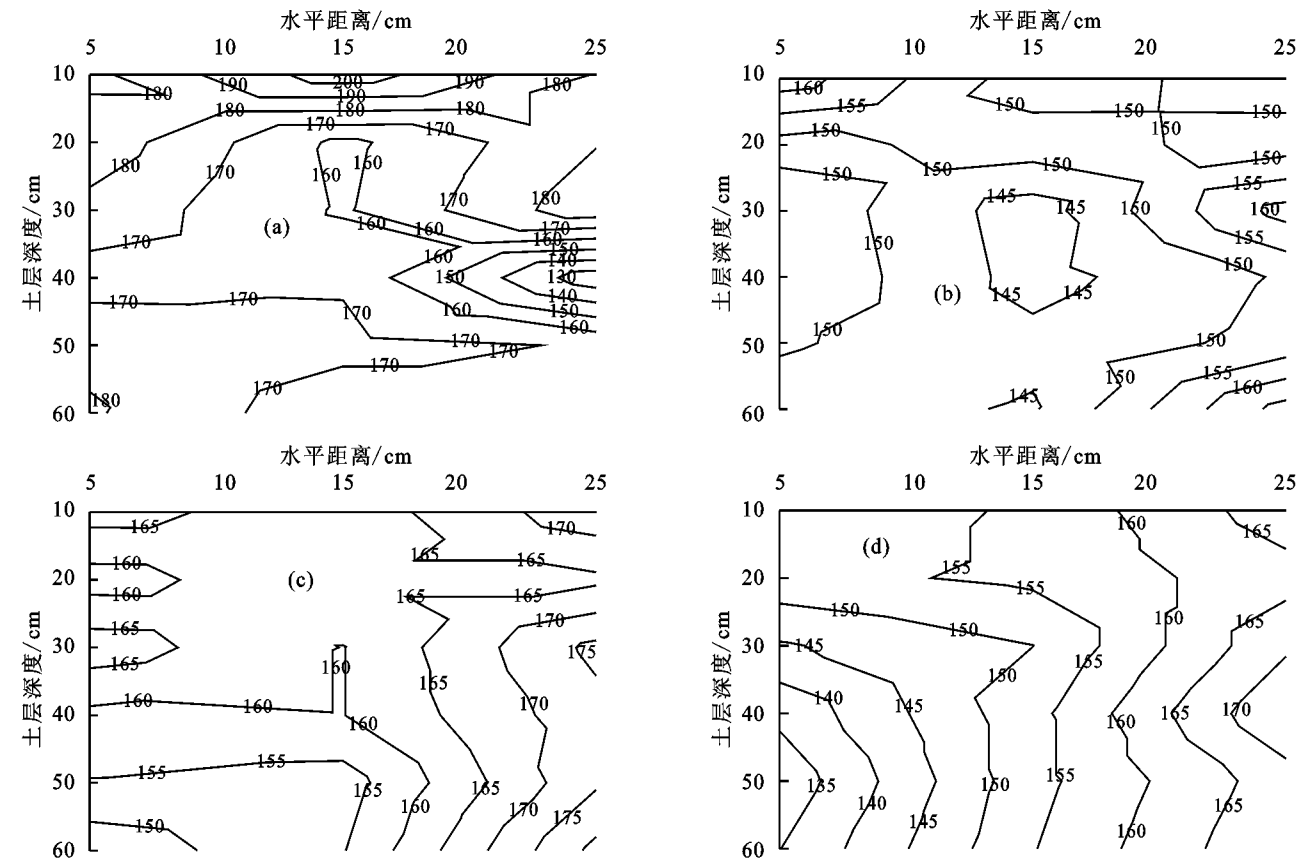


图 4 A 处理下施加钾肥在土壤中随滴灌水的时空运移情况

从图 3 和图 4 还可以看出,在滴灌条件下,磷肥和钾肥作为基肥使用时,钾肥的迁移速度快于磷肥。主要是因为磷肥受土壤吸附的影响,迁移速度较慢,而硫酸钾属于强电解质,溶于水后发生电离,产生游离态的 K^+ ,而 K^+ 的水合离子半径较小,土壤吸附较弱,即迁移的速度较快^[12]。

2.3 磷、钾肥随水分施入条件下速效 P、K 在土壤中的时空分布及变化特征

磷肥随水分施入实行水肥一体化 2 次灌水后,在土壤中时空运移的情况见图 5。从图 5 可以看出,第 1 次滴灌 48 h 后,在滴水点附近,土壤中的速效磷含量发生了较大幅度的增加,滴水点处纵向 20 cm、径向 15 cm 的湿润区以内其值增加到 18~27 mg/kg,比本底值增加了 13.53~22.53 mg/kg;而在此湿润区以外土壤中的速效磷含量仅为 6 mg/kg,增量较小,为 1.53 mg/kg 左右。经过 10 天土壤水分蒸发和运移变化,滴水点附近土壤速效磷含量有所降低,最高值降为 21 mg/kg,相比于灌水后 48 h 后减少了 6 mg/kg 左右;其他区域土壤中速效磷含量没有明显变化,维持在 6 mg/kg 左右。第 2 次滴灌 48 h 后,滴水点附近土壤中速效磷含量的最大值增加到 33 mg/kg,比第 2 次灌水前增加了 12 mg/kg,滴水点处纵向 20 cm、径向 15 cm 以内土层速效磷含量也相应有所

增长,在此区域以外土壤速效磷含量一直维持在 6 mg/kg 左右,此后土壤中速效磷含量相对稳定。由此表明,磷肥在滴灌条件下随水分施,速效磷随滴灌水分入渗运移发生迁移的范围较小,主要在滴水点处纵向 20 cm、径向 15 cm 以内土层内发生较为显著的积累,且随着时间的推移,速效磷在土壤内不会发生显著的迁移。

由图 6 可以看出,在钾肥分施处理条件下,水肥一体化滴灌 48 h 后,土壤中速效钾含量最大值的时空分布也出现在点源附近,在滴水点处纵向 20 cm、径向 20 cm 以内土壤中速效钾含量达到 140~190 mg/kg,比施肥前增加了 36.62~86.62 mg/kg,外围其他区域土壤速效钾含量仅为 120 mg/kg 左右,增加了 16.62 mg/kg 左右,但很快发生迁移,10 天后土壤速效钾含量的分布与 A 处理相似,比较均匀地分布在土体中;第 2 次灌水后土壤速效钾含量的时空分布与变化过程与第 1 次灌水后基本相同,不同之处是土壤速效钾的含量有所增加,达到 170 mg/kg 左右,略高于 A 处理,本次试验周期结束后土体内速效钾含量增加了 66.62 mg/kg 左右。说明滴灌条件下钾肥随水分施,土壤中速效钾的分布表现为灌水结束初期土壤湿润区内含量相对较高,随着时间的推移,速效钾最终会比较均匀地分布在土壤中。

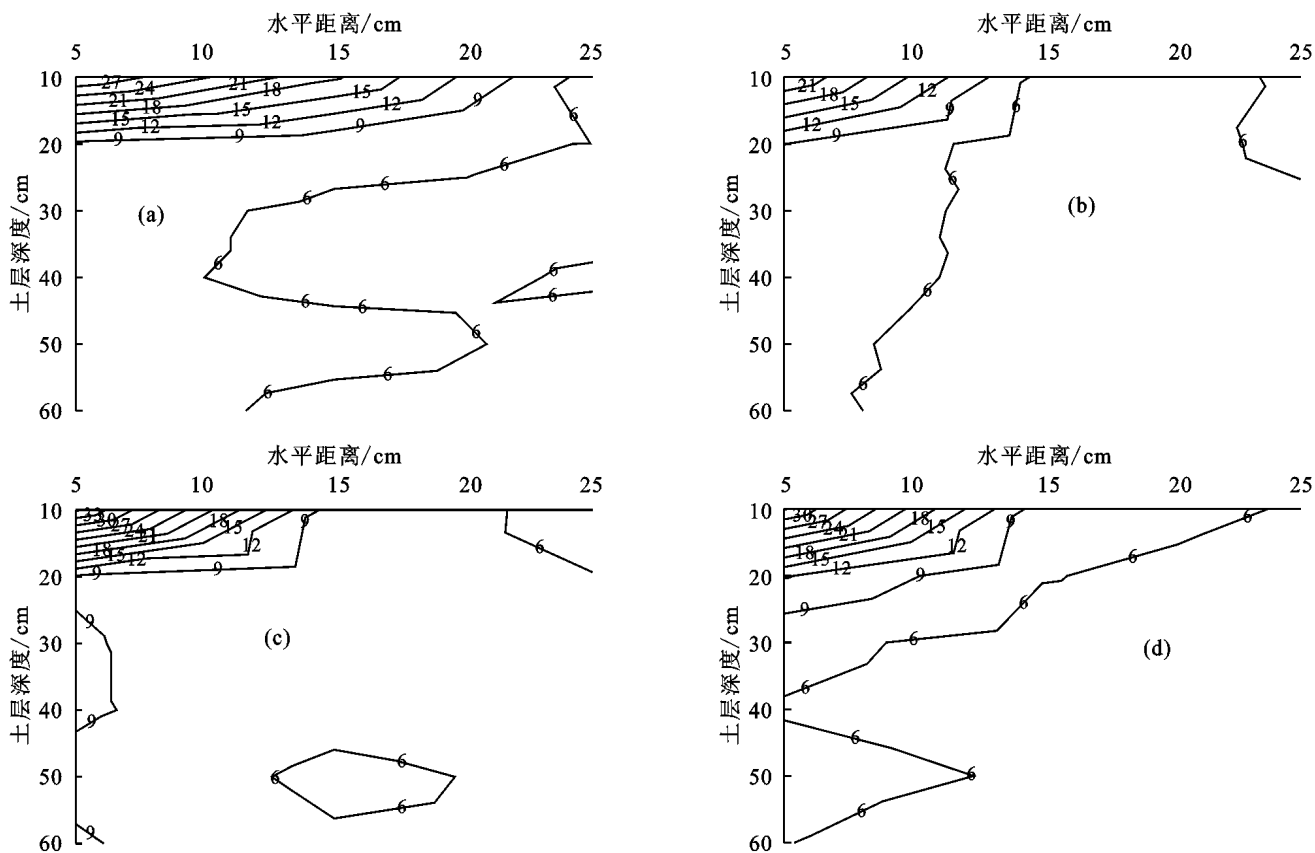


图 5 B 处理下施加磷肥在土壤中随滴灌水的时空运移情况

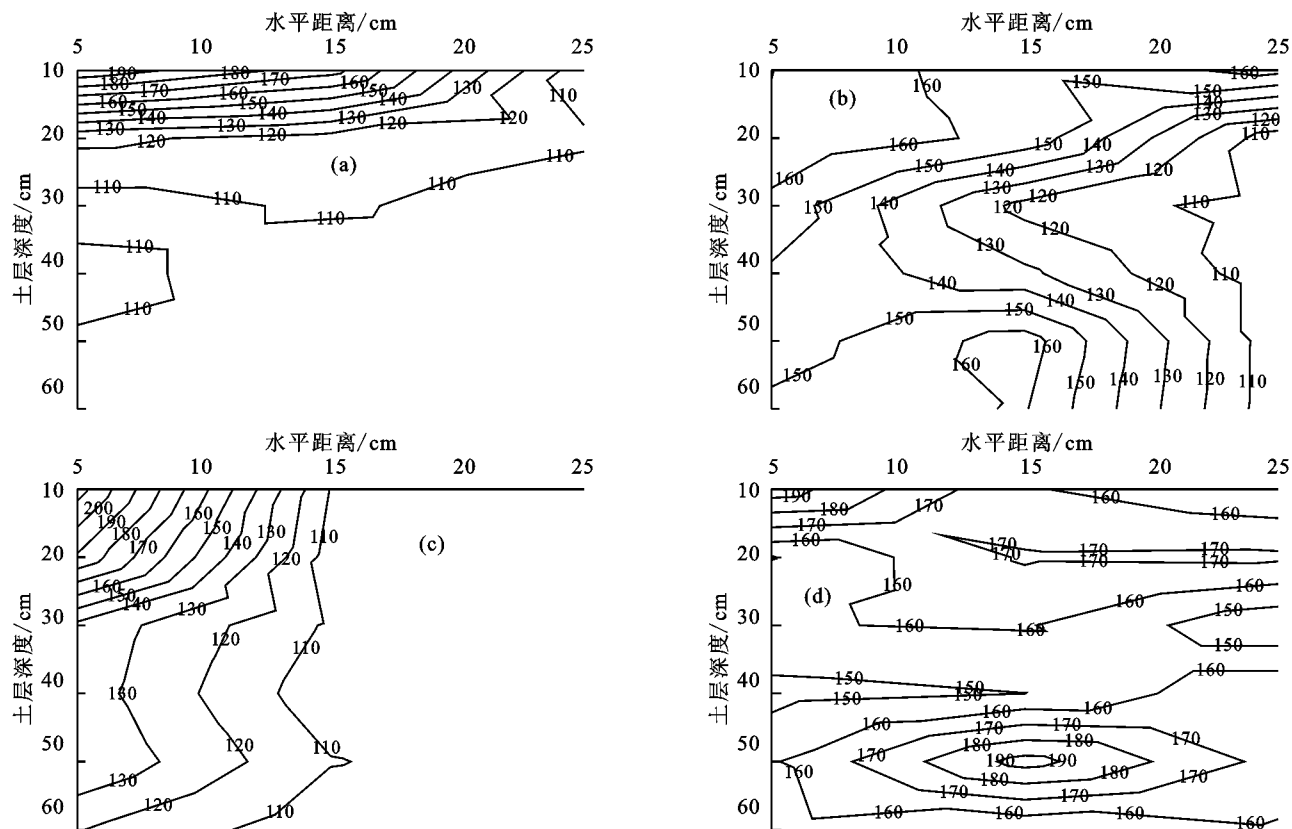


图6 B处理下施加钾肥在土壤中随滴灌水的时空迁移情况

3 讨论

在本试验条件下,由于磷肥和钾肥性质的差异,同样在滴灌条件下和不同施肥方式情况下,速效磷和速效钾在土壤湿润体中的迁移时空变化过程存在较大差异:基施处理下,磷肥和钾肥向深层土壤迁移的速度均大于随水分施处理的迁移速度,这主要是因为作为基肥施入时,肥料主要分布在土壤耕层,在灌溉过程中,磷肥和钾肥会溶解于水中,并伴随水分的入渗运移向周围发生迁移。本试验中作为基肥施入的磷肥和钾肥全部集中在20 cm耕层范围内,就肥液浓度和养分含量而言,会显著高于下层土壤,较大的肥力梯度会加速养分向下迁移,尽管土壤对磷肥有一定的吸附作用,但由于肥料相对均匀地分散在土层中,地表土壤对磷肥的吸附量十分有限,所以地表浅层内速效磷和速效钾含量与下层土壤含量基本相近。而磷肥和钾肥分施灌溉条件下,肥水溶液始终随水从地表向下运移,肥液从滴水点向周围入渗(图4、图5),会在浅层或滴水点附近出现速效磷和速效钾的聚表现象。在2种处理条件下,钾肥在土壤中的迁移速度均明显高于磷肥。灌水结束48 h后,土壤水分运移基本达到稳定,但土壤湿润体中速效磷的迁移还没有达到稳定状态,而土壤湿润体中的速效钾含量则已趋于均匀,产生这种结果的原因主要与2种化肥的性质存在差异有关,磷肥在土壤中的迁移主要被土壤吸附

所限制,施加的磷肥与土壤接触,发生吸附固定与化学反应固定2种固定形式使得磷肥被固定为对植物吸收利用的无效态磷肥^[21],所以磷肥受土壤的吸附作用较强,在土壤中的迁移量和迁移速度都将受到影响。而钾肥属于强电解质,溶于水后发生电离,钾离子的水合离子半径较小,土壤的吸附力较小,在离子浓度梯度作用下快速发生迁移。因此,施加的钾肥能够以大量存在的 K^+ 随水而进行迁移。也就是外源钾主要以游离态的钾离子形式补充土壤而被土壤胶体吸附,这些吸附的钾离子可被氢离子和铵离子交换成为有效钾供应植株生长^[22]。本次试验也表明,钾肥随水分施在一定程度上减缓了钾肥的迁移速度,说明钾肥在土壤中的迁移机制属于“对流—吸附控制”型^[12]。

4 结论

(1)磷肥作为基肥施加,磷肥的迁移范围与水分运移规律基本保持一致,浅层磷肥在水分运移的推动下会大量向深层土体迁移,随着灌水量的增大,可能会造成磷肥的淋失;在本试验条件下,磷肥分施则仅在土层深度20 cm、径向15 cm以内发生较为明显的迁移,其余土层的土壤速效磷含量基本保持稳定。但在施肥量相同的条件下,采用水肥一体化灌溉,磷肥随水分施,在土壤湿润区内的时空分布呈现显著的差异,土壤速效磷含量的高值区分布在滴水点附近,远离滴水点的湿润区速效磷含量相对较低。

(2)钾肥作为基肥施加,灌水后受土壤水分运移的影响,速效钾在土壤中非常容易发生迁移,在较短的时间内即能使整个试验区土体中的土壤速效钾含量趋于均匀化;随水分施可在一定程度上减缓速效钾的迁移速度,在短时间内速效钾在滴水点附近的湿润区浅层积累形成高值区,但随着灌水后时间的延长,速效钾在土壤湿润体中的分布不受施肥方式的影响,最终均会接近均匀分布。

(3)由试验结果可以看出,磷肥和钾肥作为基肥一次性施入土壤后,大量的速效磷和速效钾在频繁灌溉和降水的作用下随着水分的运移向土壤深层发生迁移,造成地表耕层内的速效磷和速效钾含量迅速降低,作物吸收利用难度增大,这是基施化肥利用效率低的原因之一。随水分施在一定程度上可以提高速效磷和速效钾在土壤耕层的含量,有利于作物吸收利用。

基于上述研究结果,在进行农田作物配肥过程中,对于浅根系作物宜选择随水分施磷肥,既能及时补充作物生长所需要的磷肥,又能减少磷肥的淋失;若根系分布比较深的作物,可考虑磷肥基施,使得在滴灌条件下磷肥能下渗至作物根系吸收的深度;鉴于钾肥基施时迁移速度加快,容易造成钾肥的淋失,而随水分施入钾肥也可满足作物所需的养分。因此,大田作物管理时,应优先选择随水分施钾肥的施肥管理模式。

参考文献:

- [1] 刘建英,张建玲,赵宏儒.水肥一体化技术应用现状、存在问题与对策及发展前景[J].内蒙古农业科技,2006(6):32-33.
- [2] 高鹏,简红忠,魏样,等.水肥一体化技术的应用现状与发展前景[J].现代农业科技,2012(8):250.
- [3] 张凌飞,马文杰,马德新,等.水肥一体化技术的应用现状与发展前景[J].农业网络信息,2016(8):62-64.
- [4] 王旭洋.滴灌条件下施肥时段对土壤中速效氮时空分布的影响研究[D].北京:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心),2016.
- [5] 亓沛沛,冉圣宏,张凯,等.不同灌溉方式对干旱区耕地土壤养分及其分布的影响[J].灌溉排水学报,2013,32(2):33-36.
- [6] 陈云.滴灌棉花养分运移分布规律及高效利用技术研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [7] 王家平,李鲁华,陈仲利,等.棉花膜下滴灌条件下不同养分在土壤中分布规律研究[J].中国棉花,2009,36

- (3):21-22.
- [8] 薛冯定.大田棉花滴灌施肥水肥耦合效应研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2013.
- [9] 尹飞虎,刘洪亮,谢宗铭,等.棉花滴灌专用肥氮磷钾元素在土壤中的运移及其利用率[J].地理研究,2010,29(2):235-243.
- [10] 苏木德.不同水肥调控措施对马铃薯种植土壤养分运移的影响[J].福建农业,2015(2):137.
- [11] 徐林,黄海荣,黄玉溢,等.地下滴灌条件下甘蔗根系和蔗地土壤速效养分分布规律的研究[J].广东农业科学,2011(1):78-80.
- [12] 黄耀华.滴灌施肥条件下 NPK 在紫色土中迁移分布规律研究[D].重庆:西南大学,2014.
- [13] 王静,叶壮,褚贵新.水磷一体化对磷素有效性与磷肥利用率的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(11):1377-1383.
- [14] Damon P M, Bowden B, Rose T, et al. Crop residue contributions to phosphorus pools in agricultural soils: A review[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 74: 127-137.
- [15] Qin H L, Quan Z, Liu X L, et al. Phosphorus status and risk of phosphate leaching loss from vegetable soils of different planting years in suburbs of Changsha, China[J]. Agriculture Sciences in China, 2010, 9(11): 1641-1649.
- [16] Singh V K, Dwivedi B S, Brahma S, et al. Potassium fertilization in rice-wheat system across Northern India: Crop performance and soil nutrients[J]. Agronomy Journal, 2013, 105(2): 471-481.
- [17] Li X K, Zhan L P, Lu J W, et al. Potassium mobilization and transformation in red paddy soil as affected by rice[J]. Agronomy Journal, 2014, 106(3): 1011-1017.
- [18] 鲁绪会.磷钼蓝光度法测定土壤中速效磷:还原剂的改进[J].安康师专学报,2002(1):62-64.
- [19] 王火焰,朱树国,周健民,等.常规方法准确测定土壤有效钾素变化可能性的探讨[J].土壤通报,2006,37(5):954-960.
- [20] 朱树国.土壤钾素变化定量测定方法的研究[D].武汉:华中农业大学,2004.
- [21] 樊红柱,陈庆瑞,秦鱼生,等.长期施肥紫色水稻土磷素累积与迁移特征[J].中国农业科学,2016,49(8):1520-1529.
- [22] 王飞,林诚,李清华,等.不同施肥措施提高南方黄泥田供钾能力及钾素平衡的作用[J].植物营养与肥料学报,2017,23(3):669-677.