

滴灌施肥条件下土壤水分和速效磷的分布规律^{*}

王 虎^{1,2}, 王旭东¹

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 将一定量的肥料 KH_2PO_4 溶于灌水, 配制成速效磷 (P_2O_5) 含量为 87 mg/L 的溶液进行滴灌施肥试验, 研究滴头流量分别为 2, 4, 6 L/h、灌水施肥量分别为 8, 16, 24 L 时, 水分和速效磷在土壤中的运移分布规律。结果表明, 灌水施肥量为 8 L 时, 随滴头流量增大, 滴头周围地表积水区半径增大, 水分径向运移距离增大, 纵向入渗水量减小; 当滴头流量为 2 L/h 时, 随灌水施肥量增大, 水分径向和纵向运移距离均增大, 径向运移距离增大幅度较纵向明显。速效磷在土壤中的迁移聚集机制为“对流主导、对流-吸附控制”型; 速效磷含量随土层深度增大逐渐减小, 随径向距离增大呈先逐渐减小再增大趋势, 在滴头处及湿润锋附近速效磷含量相对较高; 随滴头流量增大, 速效磷在土壤中的纵向运移距离减小, 滴头径向距离为 0~30 cm 时, 0~2.5 cm 土层速效磷含量增大, 10~25 cm 土层速效磷含量减小; 随灌水施肥量增大, 速效磷径向运移距离增加, 滴头径向距离为 0~30 cm、深度为 0~25 cm 土层速效磷含量增大。供试地区采用滴灌施肥方式补施磷肥, 滴头流量以 2 L/h 为宜, 灌水施肥量控制在 8 L 左右、滴头间距 60 cm 左右较为合理。

[关键词] 滴灌施肥; 水分分布; 土壤速效磷分布; 滴头流量; 灌水施肥量

[中图分类号] S275.6; S143.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)05-0141-06

Distribution of soil water and available phosphorus under drip fertigation

WANG Hu^{1,2}, WANG Xu-dong¹

(1 College of Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract : Irrigation water with 87 mg available phosphorus in each liter prepared with KH_2PO_4 was used for dripping fertigation. Distributions of water and available phosphorus in Lou soil were investigated under the controlled condition such as dripping end rate at 2, 4, 6 L/h and fertigation volume at 8, 16, 24 L. The results showed that as fertigation volume was 8 L, with dripping rate increased, surface catchment radius around tip increased and more water transported horizontally, while less water transported vertically. As dripping rate was 2 L/h, dripped water transporting to horizontal and vertical direction both increased with irrigation volume increased. But water increased more obviously in horizontal direction than in vertical direction. Under the condition of dripping fertilization, available phosphate distribution in soil was controlled by water convection and soil absorption. In vertical direction, available phosphate decreased with the increase of soil depth, while in horizontal direction, available phosphate got to the highest at point of drop tip, with the character of decreasing with the increase of horizontal distance firstly, and then increasing again at wetting peak; as flow rate increased, transportation distance of available phosphate to vertical layer decreased. At the range of 0 to 30 cm from drop point horizontally, available phosphate increased in the lay-

^{*} [收稿日期] 2006-03-28

[基金项目] 国家“863”计划项目(2001AA242101)子课题“黄土高原几种典型土壤水肥一体化研究”

[作者简介] 王 虎(1975-), 男, 陕西高陵人, 讲师, 在职博士, 主要从事土壤及环境化学研究。E-mail : Bahxy @163.com

[通讯作者] 王旭东(1965-), 男, 河南唐河人, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤化学研究。

er of 0 - 2.5 cm and decreased in the layer of 10 - 25cm vertically; as fertilization volume increased, transporting distance of available phosphate in horizontal direction increased, and at the range of 0 to 30 cm from drop point in horizontal direction, available phosphate increased in the layer of 0 to 25 cm in vertical direction. It's proved that the available phosphate for spreading irrigation and fertigation in the tested district, should be the rational flow rate of dripping end, 2 L/h; irrigation and fertigation volume, about 8 L, and the distance between dripping end, about 60 cm.

Key words: dripping fertigation; water distribution; available phosphorus distribution; flow rate of dripping end; irrigation volume

滴灌施肥是将肥料溶于灌水,再通过滴灌系统将肥料养分随灌水一起输送到植物根区,供植物吸收利用。该灌溉施肥方式可根据土壤状况及不同阶段作物生长特性,有效控制水分、养分供给的数量和比例,充分发挥水肥耦合效应,提高水肥利用率。滴灌施肥是解决我国干旱、半干旱地区农业水肥资源不足、利用率低下等问题的有效措施之一^[1]。磷肥作基肥一次足量施入,大量的速效磷被土壤吸附和固定,影响作物对磷的吸收^[2]。将磷肥溶于水,通过灌溉连续施入,被土壤固定的磷量显著减少,土壤溶液中的速效磷含量明显增大^[3-4],磷肥利用率提高。因此,滴灌施磷是改善土壤供磷状况,提高磷肥利用率的有益尝试。

了解不同滴灌施肥条件下水分和养分的运移和分布规律,研究滴灌施肥系统运行参数对养分运移及分布的影响,是选择滴灌施肥系统设计参数和运行参数的重要依据^[5],是滴灌施肥技术应用和推广的前提。张建君等^[5]、李久生等^[6]和习金根等^[7]研究了点源滴灌施肥条件下,滴头流量、灌水量和肥液含量对氮素运移分布规律的影响,而有关滴灌施肥系统运行参数对磷运移分布规律的影响还未见报道。本试验研究大田点源滴灌施肥条件下,水分和速效磷在不同深度土层的径向分布规律,以及滴头流量和灌水施肥量二因子对速效磷分布规律的影响,旨在为滴灌施磷技术的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验于 2004-03 在陕西杨凌职业技术学院农林综合实训基地大田原状土上进行,土壤为杨凌二级阶地±壤土,属重粉质壤土,土壤理化性质见表 1。

1.2 试验方法

试验设滴头流量(q)和灌水施肥量(Q)两个影响因子,每个因子各设 3 个水平(q 为 2, 4, 6 L/h; Q 为 8, 16, 24 L),采用完全组合方案,共计 9 个处理。

将一定量的肥料 KH_2PO_4 溶于灌水,配制速效磷(P_2O_5)含量为 87 mg/L 的溶液进行滴灌施肥试验。用马氏瓶控制滴头流量(q),用灌溉历时控制灌水施肥量(Q),根据滴头流量(q)和灌水施肥量(Q)计算各处理的灌溉历时。灌溉结束立即分别在不同深度(z : 2.5, 10, 15, 20, 25, 30 cm)土层(0 ~ 2.5, 7.5 ~ 10, 12.5 ~ 15, 17.5 ~ 20, 22.5 ~ 25, 27.5 ~ 30 cm)上,以滴灌点为圆心划不同半径 r (2.5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 cm)的圆弧,并在圆弧上采样,测定各土样的含水量和速效磷含量,分析湿润体不同深度土层水分和速效磷的径向分布状况。

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical-chemical properties of soils used in the experiment

土层/cm Depth	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) Bulk density	含水量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Water content	速效磷/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Available P
0 ~ 5	1.21	125	12.2
5 ~ 10	1.38	148	11.5
10 ~ 15	1.40	150	11.5
15 ~ 20	1.40	150	11.5
20 ~ 25	1.45	150	11.5
25 ~ 30	1.45	147	11.4

1.3 测定项目及方法

土壤含水量采用烘干法测定^[8];土壤速效磷含量采用 0.50 mol/L 的碳酸氢钠溶液浸提 - 钼锑抗比色法测定^[8]。

2 结果与分析

2.1 滴头流量(q)对水分和速效磷分布的影响

2.1.1 对水分分布的影响 用灌后土壤含水量(W)与灌前土壤含水量(W_0)的比值表示土壤含水量相对值 W/W_0 ,若 W/W_0 大于 1,则表示灌水到达,否则表示灌水未到达。灌水施肥量(Q)等于 8 L,滴头流量(q)分别为 2, 4 和 6 L/h 时,不同深度(z)土层含水量相对值 W/W_0 的径向(r 方向)变化见图 1。

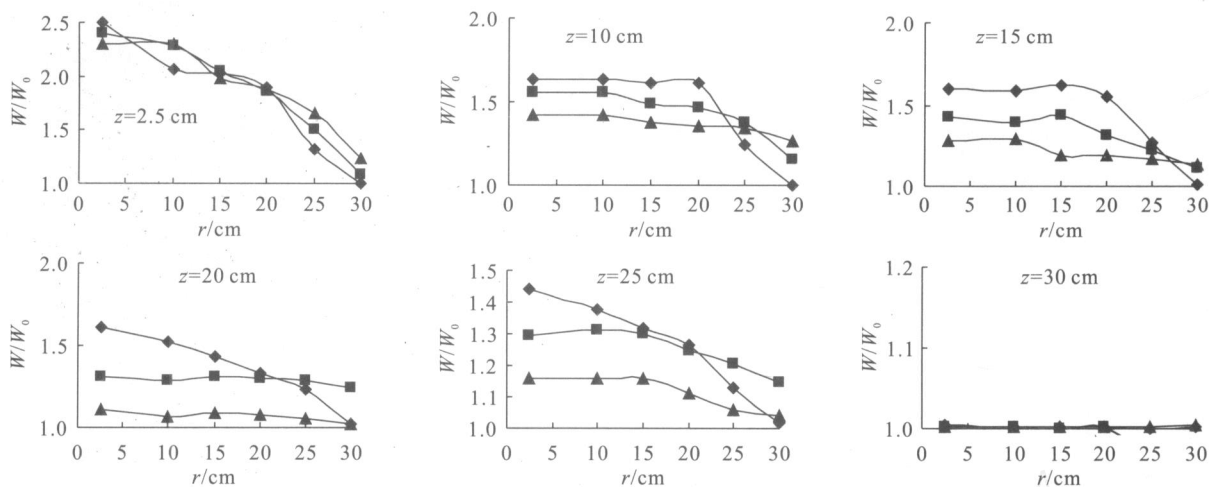


图1 不同滴头流量(q)处理下各深度(z)土层水分的径向(r)分布

—◆— $q=2$ L/h; —■— $q=4$ L/h; —▲— $q=6$ L/h

Fig.1 Horizontal distribution of water in different soil depth under different dripping end flow

由图 1 可知,灌水施肥量(Q)为 8 L,不同滴头流量下,0~25 cm 土层的土壤含水量相对值 W/W_0 均随径向距离(r)增大呈减小趋势,递减率随土层深度(z)增大而减小;灌水施肥量(Q)为 8 L, z 为 10~25 cm 时,随滴头流量(q)增大,土壤含水量相对值 W/W_0 基本减小。这是由于滴头流量的供水强度均超过土壤入渗能力,导致地表积水,滴头流量愈大,积水面积愈大,纵向入渗水量减小。

观测知,在土壤表层,灌水施肥量(Q)为 8 L,滴头流量(q)分别为 2,4 和 6 L/h 时,灌水的径向迁移距离(r)分别为 25~30,30 和 >30 cm;纵向入渗深度(z)均达到 25 cm,根据趋势估计,随滴头流量增大,水分纵向入渗深度减小。灌水施肥量(Q)为 8 L,随着滴头流量(q)增大,滴头周围地表积水区半径增大,水分在土壤中的径向迁移距离(r)增加,其中当滴头流量(q)等于 2 L/h 和 6 L/h 时,滴头周围地表积水区半径分别为 2.5 和 10 cm,积水促进了土壤水分的径向运移。因此在灌水施肥量一定的条件下,滴头流量大的处理,其一定深度土层入渗水量相对较少,土壤水分增量较低, W/W_0 值相应较小。

图 1 显示,灌水施肥量为 8 L,土层深度为 30 cm 时,不同滴头流量处理土壤水分径向分布曲线趋于重合,其 W/W_0 值约等于 1。表明在田间条件下,虽然滴头流量较小处理纵向入渗水量应该比较大,但因其达到一定灌水施肥量需要的灌溉历时较长,所以土壤蒸发水量较大,导致纵向入渗水量减少,从而出现在同一灌水施肥量下,3 种不同滴头流量处理土壤水分径向分布曲线趋于重合的现象,故 30 cm 可作为灌水施肥量等于 8 L 时,不同滴头流量下

水分的纵向最大入渗深度。

图 1 还显示,当 z 分别为 2.5 和 10 cm,滴灌点径向距离 $r=30$ cm 时,2 L/h 滴头流量处理的 W/W_0 值约等于 1,而 4 L/h 和 6 L/h 处理 W/W_0 值仍大于 1,且 6 L/h 处理 W/W_0 值大于 4 L/h 处理。表明 4 L/h 和 6 L/h 处理水分具有向大于 30 cm 径向距离迁移的趋势,且 6 L/h 处理水分迁移的趋势较 4 L/h 处理强。说明灌水施肥量一定时,随滴头流量增大,水分在土壤中的径向迁移距离增大。当 z 分别为 15 和 20 cm,滴灌点径向距离 $r=30$ cm 时,6 L/h 滴头流量处理的 W/W_0 值已接近 2 L/h 滴头流量处理,即随土层深度增大,较大滴头流量处理水分径向迁移趋势减弱。

2.1.2 对速效磷分布的影响 灌水施肥量(Q)等于 8 L,滴头流量(q)分别为 2,4 和 6 L/h 时,不同深度(z)土层速效磷含量的径向(r 方向)变化见图 2。

图 2 显示,灌水施肥量(Q)等于 8 L,滴头流量(q)分别为 2,4 和 6 L/h 时,速效磷在土壤中的径向最大迁移距离均为 30 cm 左右,纵向最大迁移距离分别为 30,25~30 和 20~25 cm。说明灌水施肥量一定,随滴头流量增大,速效磷在土壤中的径向迁移距离变化不明显,纵向迁移距离减小。

由本试验测定结果知,灌水施肥量(Q)等于 8 L,滴头流量(q)分别为 2 和 4 L/h,滴头径向距离为 0~30 cm 时,0~2.5 cm 土层土壤速效磷含量平均值分别为 21.9 和 40.1 mg/kg,10~25 cm 土层土壤速效磷含量平均值分别为 22.1 和 11.8 mg/kg。由此可知,灌水施肥量一定时,随滴头流量的增大,0~2.5 cm 土层土壤速效磷含量增加,而 10~25 cm 土

层速效磷含量减小。

图 2 还显示, z 为 2.5 cm 时, 不同滴头流量(q)处理的速效磷在土壤中的径向分布规律有差异。滴头流量 $q = 2 \text{ L/h}$ 时, 随径向距离增大, 土壤速效磷含量逐渐降低, 这是由于滴头附近的土壤含水量增量较大, 聚集了较多的速效磷, 因而形成速效磷高含量区。又因对流作用远大于扩散作用, 故随径向距离增大, 土壤含水量增量减小, 速效磷含量逐渐降

低。滴头流量 $q = 4 \text{ L/h}$ 时, 不仅在滴头附近形成速效磷高含量区, 而且随径向距离的增大, 速效磷含量呈现先降低后升高的趋势, 其拐点(速效磷含量最小值)在滴头径向距离 20 cm 处。滴头流量(q)为 6 L/h 的处理, 速效磷在土壤中的分布规律表现为, 滴头径向距离 r 为 0 ~ 10 cm, 土壤速效磷含量均相等, 且最大, 滴头径向距离 r 为 10 ~ 30 cm, 土壤速效磷含量随着距滴头径向距离增大而逐渐减小。

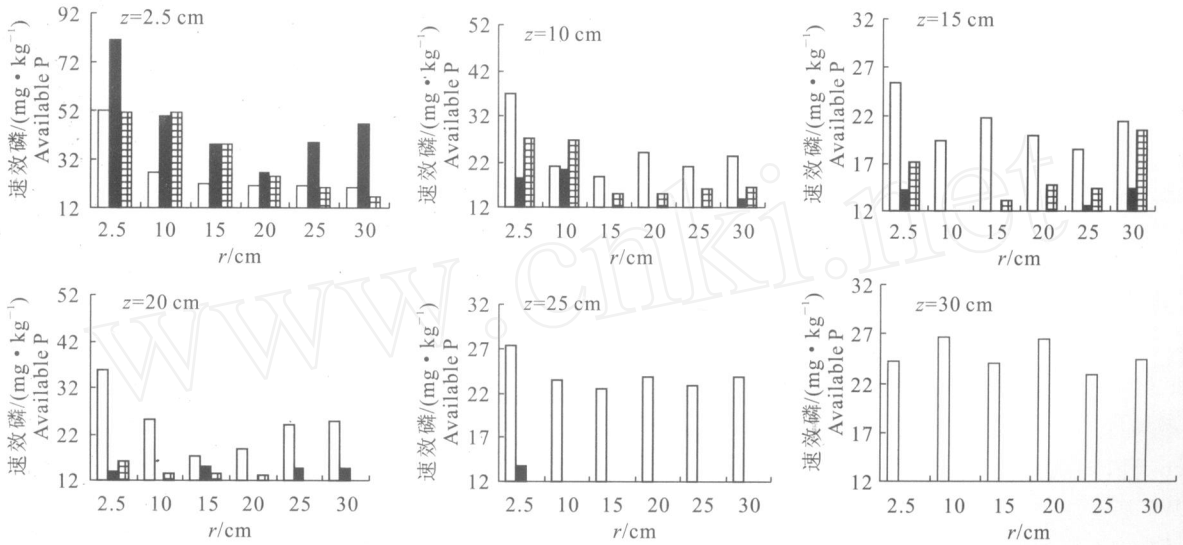


图2 不同滴头流量(q)处理下各深度(z)土层速效磷的径向(r)分布

□. $q = 2 \text{ L/h}$; ■. $q = 4 \text{ L/h}$; ▨. $q = 6 \text{ L/h}$

Fig.2 Horizontal distribution of available phosphorus in different soil depth under different dripping end flow

比较 z 为 2.5 cm 土层速效磷和水分的径向分布(图 2 与图 1)发现, 水分在土壤中的运移分布状况直接影响速效磷分布。滴头流量 $q = 6 \text{ L/h}$ 时, 因土壤表层滴头周围积水区半径增大, 使水分以积水区为中心作类似 2 L/h 滴头流量处理的入渗迁移运动, 故 6 L/h 滴头流量处理速效磷在土壤中的运移方式与 2 L/h 滴头流量处理相似。

供试土壤属负电性土壤, 灌水时的磷酸根离子(H_2PO_3^-), 可通过化学固定等作用被土壤吸附, 属于反应性溶质, 其在土壤中的迁移受吸附作用的影响; 此外, 由于磷酸根离子(H_2PO_3^-)为可溶性阴离子, 其随水迁移过程明显受对流迁移作用的影响^[9], 故磷酸根(H_2PO_3^-)在供试土壤中的迁移聚集机制为“对流主导、对流 - 吸附控制”型。因而在适当滴头流量($q = 4 \text{ L/h}$)条件下, 速效磷可在湿润锋处积累形成高含量区, 而滴头流量较小($q = 2 \text{ L/h}$)的处理, 因 H_2PO_3^- 径向的对流迁移作用减弱, 致使在湿润锋处速效磷未出现明显聚集现象。

比较以上 3 种滴头流量下速效磷在土壤中的运移过程和分布规律发现, 滴头流量为 2 L/h 时, 速效

磷在土壤中的运移扩散方式, 有利于将施肥点的速效磷运送到较远距离和较深土层, 相当于增强了磷在土壤中的移动性, 有利于提高植物根区土壤的速效磷含量, 促进根系吸收, 改善根系生长状况。因此, 供试地区滴灌施磷, 滴头流量以 2 L/h 为宜。

2.2 灌水施肥量(Q)对水分速效磷分布的影响

2.2.1 对水分分布的影响 滴头流量(q)等于 2 L/h, 灌水施肥量(Q)分别为 8, 16 和 24 L 时, 不同土层(z)土壤含水量相对值 W/W_0 的径向(r 方向)变化见图 3。图 3 显示, 滴头流量(q)等于 2 L/h, z 为 0 ~ 10 cm、 $r = 25 \text{ cm}$ 时, $Q = 24 \text{ L}$ 处理的土壤含水量相对值 W/W_0 最大, 其次为 $Q = 16 \text{ L}$ 处理, $Q = 8 \text{ L}$ 处理最低, 但 3 种灌水施肥量处理的土壤含水量相对值 W/W_0 均大于 1, 表明 3 种灌水施肥量处理的水分径向运移距离均达到 25 cm; $r = 30 \text{ cm}$ 时, 3 种灌水施肥量处理的土壤含水量相对值 W/W_0 均随灌水施肥量的增加而增大, 但 $Q = 8 \text{ L}$ 处理的土壤含水量相对值 W/W_0 等于 1, 表明只有灌水施肥量(Q)等于 8 L 的处理水分径向运移未到达 $r = 30 \text{ cm}$ 处; $r = 35 \text{ cm}$ 处, 除了 $Q = 24 \text{ L}$ 处理的土壤含水

量相对值 W/W_0 大于 1, $Q = 16\text{ L}$ 处理和 $Q = 8\text{ L}$ 处理的土壤含水量相对值 W/W_0 均等于 1, 表明只有灌水施肥量 (Q) 等于 24 L 时, 水分径向运移距离

达到 35 cm 。因此, 滴头流量 (q) 等于 2 L/h , 灌水施肥量 (Q) 等于 $8, 16$ 和 24 L 时, 水分的径向最大运移距离分别为 $25, 30$ 和 35 cm 。

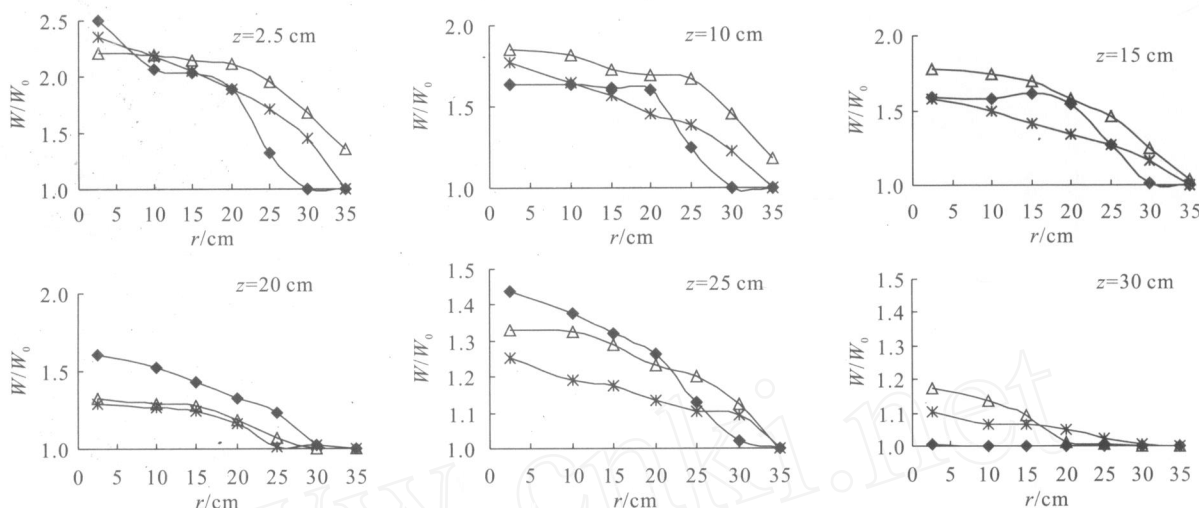


图3 不同灌水施肥量(Q)处理下各深度(z)土层水分的径向(r)分布

—◆— $Q = 8\text{ L}$; —*— $Q = 16\text{ L}$; —△— $Q = 24\text{ L}$

Fig.3 Horizontal distribution of water concentration in different soil depth under different irrigation volume

图3显示, 当 z 为 $27.5 \sim 30\text{ cm}$ 、 $r = 0 \sim 15\text{ cm}$ 时, 3种灌水施肥量处理的土壤含水量相对值 W/W_0 随灌水量的增加而增大, 但 $Q = 8\text{ L}$ 处理的土壤含水量相对值 W/W_0 等于 1。表明 3 种灌水施肥量 (Q) 处理中, 只有 $Q = 8\text{ L}$ 时水分未入渗到 30 cm 土层, 而灌水施肥量 (Q) 分别为 16 和 24 L 时, 水分纵向运移距离均为 30 cm 。

综上所述, 滴头流量 (q) 为 2 L/h 时, 随灌水施肥量 (Q) 增大, 水分在土壤中的径向运移距离和纵向入渗深度增大, 径向运移距离增幅较纵向明显。

图3显示, $17.5 \sim 25\text{ cm}$ 土层, 土壤含水量相对值 W/W_0 随灌水施肥量增大而降低。其原因可能为: 一是滴头流量一定, 灌水施肥量增大, 则灌水施肥历时延长, 地表水分蒸发持续时间延长, 水分蒸发量增大, 从而导致下层土壤水分耗损量增加; 二是灌水施肥量增大, 使入渗到该土层的水分下渗到 30 cm 及其以下土层, 使该层土壤含水量降低。

2.2.2 对速效磷分布的影响 滴头流量 (q) 为 2 L/h , 灌水施肥量 (Q) 分别为 $8, 16$ 和 24 L 时, 不同土层 (z) 速效磷含量的径向 (r 方向) 变化见图4。由图4可知, 滴头流量 (q) 等于 2 L/h , 灌水施肥量 (Q) 分别为 $8, 16$ 和 24 L 时, 速效磷在土壤中的径向 (r) 运移距离分别达到 $30, 30$ 和 35 cm , 纵向 (z) 运移距离均达到 30 cm 。从图4 $z = 2.5\text{ cm}$ 到 $z = 30\text{ cm}$ 的变化趋势估计, 速效磷纵向运移距离呈现 ($Q = 24$

L) $>$ ($Q = 16\text{ L}$) $>$ ($Q = 8\text{ L}$) 趋势。由此知, 滴头流量 (q) 一定, 随灌水施肥量 (Q) 增加, 速效磷在土壤中的径向迁移距离增大, 纵向迁移距离有增大的趋势。由图4还可知, 在 $0 \sim 25\text{ cm}$ 土层, 随径向距离 (r) 增大, 灌水施肥量 (Q) 为 16 和 24 L 处理的土壤速效磷含量呈先逐渐减小再逐渐增大的趋势, 且径向运移距离 r 为 $0 \sim 30\text{ cm}$, 土壤速效磷含量随灌水施肥量 (Q) 的增大而增加。表明灌水施肥量增大, 土壤含水量增量增大, 运移到的溶质增多, 土壤速效磷含量增大。再次证实滴灌施肥条件下速效磷在土壤中的运移机制属“对流主导、对流-吸附控制”型。此外, 随着灌水施肥量的增大, 土壤速效磷含量径向分布曲线从“L”形演变为“U”形, 即速效磷在径向湿润锋处出现累积, 也证实了对流作用在速效磷运移中的主导作用。

图4显示, 在 $27.5 \sim 30\text{ cm}$ 土层, $Q = 24\text{ L}$ 处理的土壤速效磷含量最高, 其次为 $Q = 8\text{ L}$ 处理, $Q = 16\text{ L}$ 处理最低, 即灌水施肥量 (Q) 从 8 L 增大到 16 L , 土壤速效磷含量反而减小。此现象出现应与速效磷随水下渗有关, 具体原因有待进一步研究。

由本试验测定结果可知, 土层深度 z 为 $0 \sim 2.5\text{ cm}$, 滴头径向距离 r 为 $0 \sim 30\text{ cm}$, 滴头流量 (q) 等于 2 L/h , 灌水施肥量 (Q) 为 $8, 16$ 和 24 L 处理的土壤速效磷含量分别为 $21.9, 28.7$ 和 46.0 mg/kg ; 土层深度 z 为 $0 \sim 25\text{ cm}$, 滴头径向距离 r 为 $0 \sim 30\text{ cm}$,

灌水施肥量(Q)分别为 8, 16 和 24 L 处理的土壤速效磷含量分别为 22.1, 24.5 和 37.3 mg/kg。由此可知,滴头流量等于 2 L/h, 0~25 cm 深度土层,距滴头径向 30 cm 范围,土壤速效磷含量随灌水施肥

量的增大而增大。

由以上分析可知,供试地区滴灌施磷,滴头流量取 2 L/h,灌水施肥量应控制在 8 L 左右,滴头间距 60 cm 较为合适。

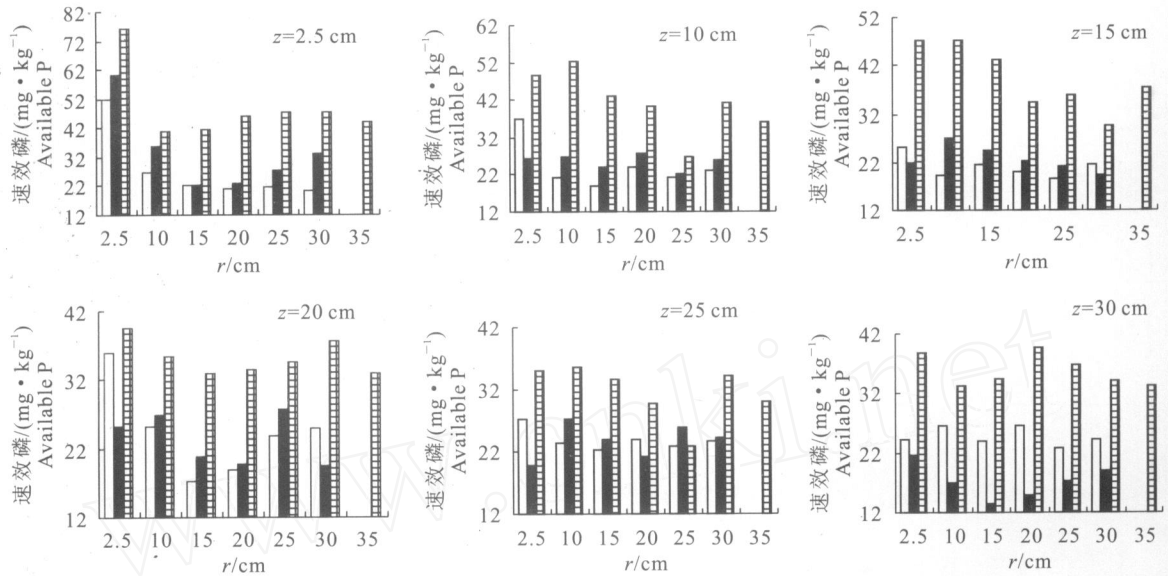


图4 不同灌水施肥量(Q)处理下各深度(z)土层速效磷的径向(r)变化

□. $Q=8$ L; ■. $Q=16$ L; ▨. $Q=24$ L

Fig.4 Horizontal distribution of available Phosphorus concentration in different soil depth under different irrigation volume

3 小 结

(1)滴灌施磷条件下,灌水施肥量(Q)等于 8 L 时,0~25 cm 深度土层土壤含水量相对值 W/W_0 随土层深度和距滴头径向距离的增大而递减,递减率随土层深度增大而减小;随滴头流量增大,滴头周围地表积水区半径增大,水分在土壤中的径向运移距离增大,纵向入渗水量减小。滴头流量为 2 L/h 时,随灌水量的增大,水分在土壤中的径向运移距离和纵向入渗深度均增大。

(2)滴灌施肥条件下, $H_2PO_3^-$ 在土壤中的运移机制属于“对流主导、对流-吸附控制”型,土壤速效磷含量随径向距离增大,呈先减小再增大的趋势,在滴头处及湿润锋附近出现速效磷高含量区。

(3)滴灌施磷条件下,灌水施肥量等于 8 L,随滴头流量增大,速效磷在土壤中的纵向运移距离减小;距滴头径向 0~30 cm, 0~2.5 cm 深度土层速效磷含量增大,10~25 cm 深度土层速效磷含量减小;适度减小滴头流量,可使土壤中速效磷含量分布趋于均匀。滴头流量为 2 L/h 时,随灌水施肥量增大,速效磷在土壤中的径向运移距离增大,0~25 cm 土层滴头径向 0~30 cm 范围土壤速效磷含量增大。

(4)由本试验结果可知,供试地区若采用滴灌施

肥方式施磷,滴头流量以 2 L/h 为宜,灌水施肥量控制在 8 L 左右、滴头间距 60 cm 左右较为合理。

【参考文献】

[1] 周建斌,陈竹君,李生秀. Fertigation——水肥调控的有效措施[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(4): 16-21.

[2] Bar-Yosef B. Fertilization under drip irrigation[M]. Palgrave D A. Fluid fertilizer science and technology. N Y: Marcel Dekker Inc, 1991: 285-329.

[3] Kafkafi U. Combined irrigation and fertilization in arid zones[J]. Israel J of Plant Sci, 1994, 42: 301-320.

[4] Bar-Yosef B, Sagiv B, Markovitch T, et al. Phosphorus placement effects on sweet corn growth, uptake and yield[C]// Dahilia greidinger international symposium on fertigation proc. Haifa Israel: [s. n.], 1995: 141-154.

[5] 张建君,李久生,任理. 滴灌施肥灌溉条件下土壤水氮运移的研究进展[J]. 灌溉排水, 2002, 21(2): 75-78.

[6] 李久生,张建君,任理. 滴灌点源施肥灌溉对土壤氮素分布影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(5): 61-66.

[7] 习金根,周建斌. 滴灌施肥条件下不同种类氮肥在土壤中迁移转化特性的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(4): 337-342.

[8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[9] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社, 1983.