

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.01.010

化全县, 尤鑫鑫, 张彦彬, 等. 氮肥减施对养分在潮土肥际微域中迁移过程的影响. 土壤, 2023, 55(1): 79–84.

氮肥减施对养分在潮土肥际微域中迁移过程的影响^①

化全县, 尤鑫鑫, 张彦彬, 郝志远, 罗寅辉

(郑州大学化工学院, 国家钙镁磷复合肥料技术研究推广中心, 郑州 450001)

摘要: 肥料减施增效对合理控制肥料用量、推进农业绿色发展、实施乡村振兴具有重要意义。本研究以尿素、磷酸二铵和硫酸钾为供试肥料, 采用培养试验研究了氮肥减施对砂质潮土和壤质潮土肥际微域速效养分迁移过程的影响。以高产推荐施肥 N 210 kg/hm² 为基础, 在氮肥减施 20% 时, 速效氮磷钾进入砂质潮土肥际微域的比例比习惯施肥 N 315 kg/hm² 增加了 15.71%、7.27% 和 13.14%, 比高产推荐施肥增加了 10.54%、3.79% 和 8.98%。速效氮迁移距离低于习惯施肥, 与高产推荐施肥相当, 为 46 mm; 有效磷迁移距离与两者无显著性差异; 速效钾迁移距离分别增加了 15.79% 和 10.00%。速效氮和有效磷进入壤质潮土肥际微域的比例比习惯施肥增加了 53.08%、3.44%, 比高产推荐施肥增加了 14.28%、6.89%, 迁移距离与习惯施肥、高产推荐施肥无显著性差异; 速效钾比例和迁移距离则低于其他两个施肥量处理。

关键词: 氮肥; 减施增效; 潮土; 肥际微域; 迁移

中图分类号: S151.3; TQ444.5 **文献标志码:** A

Effect of Nitrogen Reduction on Migration of Nutrients in Fertisphere of Fluvo-aquic Soil

HUA Quanxian, YOU Xinxin, ZHANG Yanbin, HAO Zhiyuan, LUO Yinhu

(School of Chemical Engineering, National Centre of Research & Popularization on Calcium, Magnesium, Phosphate and Compound Fertilizer Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Reducing application and promoting efficiency of fertilizers is of great significance for rationally controlling fertilizer usage, promoting green agricultural development, and implementing rural revitalization. Urea, diammonium phosphate and potassium sulfate were used in this study as the test fertilizers, the cultivated experiments were conducted study the effect of nitrogen fertilizer reduction on the migration of available nutrients in fertisphere of sandy and loamy fluvo-aquic soils. Based on the high-yield recommended fertilization of N 210 kg/hm², when nitrogen fertilizer application is reduced by 20%, the proportion of available nitrogen, phosphorus and potassium in fertisphere of sandy fluvo-aquic soil are increased by 15.71%, 7.27% and 13.14% compared with the habitual fertilization of N 315 kg/hm², and increased by 10.54%, 3.79% and 8.98% compared with the high-yield recommended fertilization. The migration of available nitrogen is lower than that of habitual fertilization, and is equivalent to the high-yield recommended fertilization, which is 46 mm; there is no significant difference in the migration of available phosphorus among the three fertilization treatments, and the migration of potassium is increased by 15.79% and 10.00%, respectively. The proportions of available nitrogen and phosphorus in fertisphere of loamy fluvo-aquic soil are increased by 53.08% and 3.44% compared with the habitual fertilization, and are increased by 14.28% and 6.89% compared with the high-yield recommended fertilization; there is no significant difference in the migration of available nitrogen and phosphorus with the habitual fertilization and high-yield recommended fertilization; the proportion and migration of available potassium are lower than those of the other two treatments.

Key words: Nitrogen fertilizer; Reducing application and promoting efficiency; Fluvo-aquic soil; Fertisphere; Migration

肥料的施用对农作物的增产具有重要的促进作用^[1], 氮素是植物生长必需的大量元素之一, 氮肥的用量显著影响作物的产量^[2]。为了保证作物高产, 过量施肥现象普遍存在^[3], 每年消耗的氮肥在肥料总量

^①基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200606)资助。

作者简介: 化全县(1974—), 男, 河南濮阳人, 博士, 副教授, 主要研究方向为绿色化学工艺与植物营养。E-mail: huaqx@zzu.edu.cn

中占很大比重^[4],导致氮肥过剩和地表水富营养化等环境问题,严重影响着农业的可持续发展^[5]。研究表明,合理施肥有助于提高作物的产量和品质,而过量施肥往往适得其反^[6-7],因此,减少氮肥施用量成为减施增效的重要途径之一。方辉等^[8]采用大田试验表明,减施氮肥显著降低了 7 个小麦品种的产量。崔正果等^[9]在连续多年秸秆还田试验地中研究发现,氮肥减施 2/9 条件下可充分协调玉米的产量与氮利用效率,为氮肥最佳减施处理。王庆彬等^[10]对大田小白菜的研究表明,宛氏拟青霉提取物在减施 1/3 氮和正常施氮水平下较清水对照提高氮素农学效率和氮肥偏生产力;减施 2/3 氮配施提取物与正常施肥产量相

当,氮素农学效率和氮肥偏生产力分别显著提高。而关于施氮量对土壤速效养分在肥际微域中迁移过程的报道较少。本文采用室内试验研究了不同施氮量对速效养分在砂质潮土和壤质潮土肥际微域中的迁移和转化的影响,以期为田间合理氮肥减施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤分别为河南清丰砂质潮土和鹤壁壤质潮土的 0~20 cm 的耕层土,风干、研磨,过 20 目筛备用,其基本理化性质见表 1。供试肥料尿素、磷酸二铵和硫酸钾以及分析用药品均为分析纯试剂。

表 1 供试土壤的理化性质

Table 1 Physicochemical properties of tested soils

土壤类型	有机质(g/kg)	pH	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	全氮(g/kg)	容重(g/cm ³)
砂质潮土	11.4	8.19	15.6	90.24	0.78	1.32
壤质潮土	18.6	7.33	14.8	129.00	1.37	1.28

1.2 试验设计

试验设置当地习惯施肥 N 315 kg/hm²、高产推荐施肥 N 210 kg/hm²和高产推荐施肥减氮 20%的 N 168 kg/hm²处理,同时设置不施肥处理为对照,磷、钾肥均为 75 kg/hm²,各处理的肥料用量如表 2 所示。将 3 种肥料粉碎,过 60 目筛,混匀后使用,每个处理重复 3 次^[11-12]。

表 2 试验肥料用量

Table 2 Fertilizer dosages in experiment

处理	施肥量 N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg/hm ²)	土柱养分施用量		
		尿素 (g)	磷酸二铵 (g)	硫酸钾 (g)
习惯施肥	315-75-75	0.233 9	0.052 5	0.052 1
高产推荐施肥	210-75-75	0.149 2	0.052 5	0.052 1
减氮 20%施肥	168-75-75	0.115 3	0.052 5	0.052 1

培养容器为石蜡浇铸的高 20 cm、内径 6 cm、壁厚 2 cm 圆柱形筒体。根据供试土壤的容重计算所需土壤质量,并均匀地装入蜡筒中,使土柱的容重与实际土壤相一致。

将蜡筒竖直置于盛有石英砂的托盘中,加入去离子水直至淹没底部 1 cm,静置 24 h,使土柱吸水至饱和。然后放掉托盘中的水分,静置 8 h 以去除土壤孔隙水。用 parafilm 膜封闭蜡筒两端,竖直置于恒温恒湿培养箱中,35 °C 下平衡 48 h。

去除蜡筒顶端的 parafilm 膜,在土柱上放置一张直径与蜡筒内径相当的滤纸,将供试肥料均匀地分散

到滤纸上,重新用 parafilm 膜封口后置于培养箱中继续培养 28 d。

培养结束后,用图 1 所示的切片器自土柱顶端依次切取 2 mm 厚度的土壤薄片,将样品置于自封袋中备用。

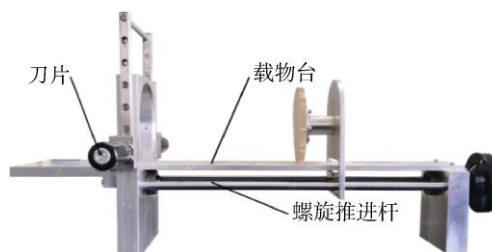


图 1 切片器示意图

Fig. 1 Schematic diagram of slicer structure

1.3 样品测定和数据分析

测定供试样品中氮磷钾水溶性和速效性养分含量,测定方法参照《土壤农业化学分析方法》^[13]。所有试验数据经 Origin 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 氮肥减施对水溶性氮和速效氮迁移的影响

进入砂质潮土与壤质潮土肥际微域的水溶性氮与速效氮的总氮量如表 3 所示。高产推荐施肥和减氮 20%施肥处理的速效氮的迁移量比例均高于习惯施肥处理,砂质潮土肥际微域氮迁移量分别增加了 4.68%、15.71%,壤质潮土肥际微域氮迁移量分别增

表 3 供试土壤肥际微域中水溶性氮与速效氮量
Table 3 Water-soluble and available nitrogen contents in soil fertisphere

处理	施氮量 (mg)	水溶性氮迁移量(mg)		速效氮迁移量(mg)		土体速效氮比例(%)	
		砂质潮土	壤质潮土	砂质潮土	壤质潮土	砂质潮土	壤质潮土
习惯施肥	120.38	23.56	19.04	71.78	53.54	59.63 ± 1.10 c	44.48 ± 1.09 c
高产推荐施肥	80.81	16.32	16.95	50.44	48.15	62.42 ± 1.14 b	59.58 ± 1.41 b
减氮 20% 施肥	64.99	14.58	15.58	44.84	44.24	69.00 ± 2.55 a	68.09 ± 1.54 a

注：同列数据小写字母不同表示处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平，下表同。

加了 33.95%、53.08%。表明合理减少施氮量可提高复合肥料中氮素在土壤的迁移，壤质潮土比砂质潮土粒径小、毛细管多、持水量大，进入土壤的速效氮量增加^[14]。过多肥料氮的投入导致土壤 NH_3 挥发和 N_2O 排放，影响了肥料氮的分配，研究显示， NH_3 挥发率达 10% ~ 19%，人为 N_2O 排放的 60% 来自于农业土壤^[15-16]。

由图 2 与图 3 可知，砂质与壤质潮土所有处理的肥际微域水溶性氮与速效氮含量均随迁移距离增大而降低。从图 2 可看出，砂质潮土高产推荐施肥与减

氮 20% 施肥处理的水溶性氮和速效氮的迁移为 40 mm 和 46 mm，习惯施肥处理水溶性氮和速效氮的迁移距离为 52 mm 和 58 mm。在施肥点周围，处理间水溶性氮和速效氮含量相差较大，并随迁移距离的增大而减小。在 0 ~ 2 mm 时，习惯施肥处理的水溶性氮和速效氮含量比减氮 20% 处理分别高 43.16% 和 40.21%，两处理的迁移距离无显著差异。从图 3 可看出，壤质潮土所有处理水溶性氮与速效氮的迁移距离为 66 mm 和 68 mm，习惯施肥处理水溶性氮和速效氮含量显著高于高产推荐施肥和减氮 20% 施肥处理。

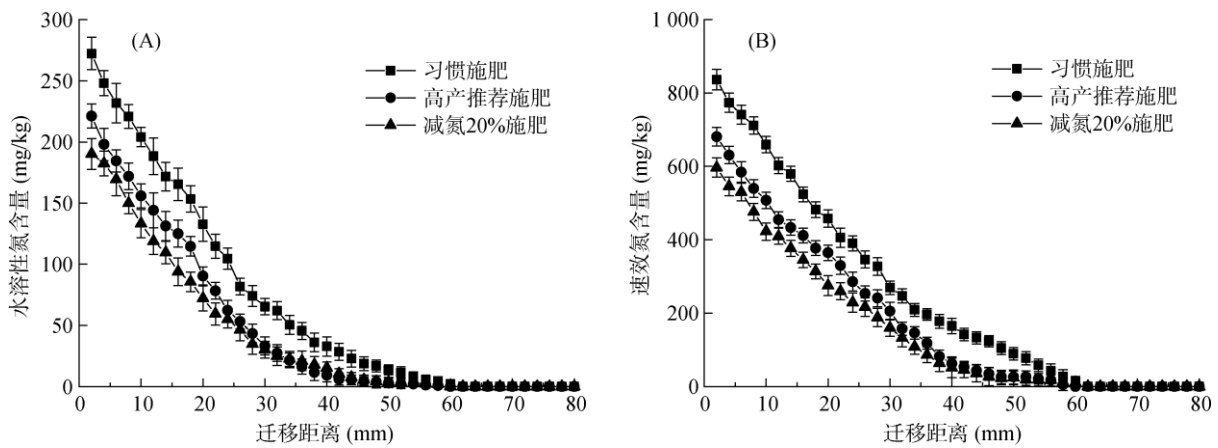


图 2 砂质潮土肥际微域水溶性氮与速效氮的迁移过程

Fig. 2 Migration of water-soluble and available nitrogen in fertisphere of sandy fluvo-aquic soil

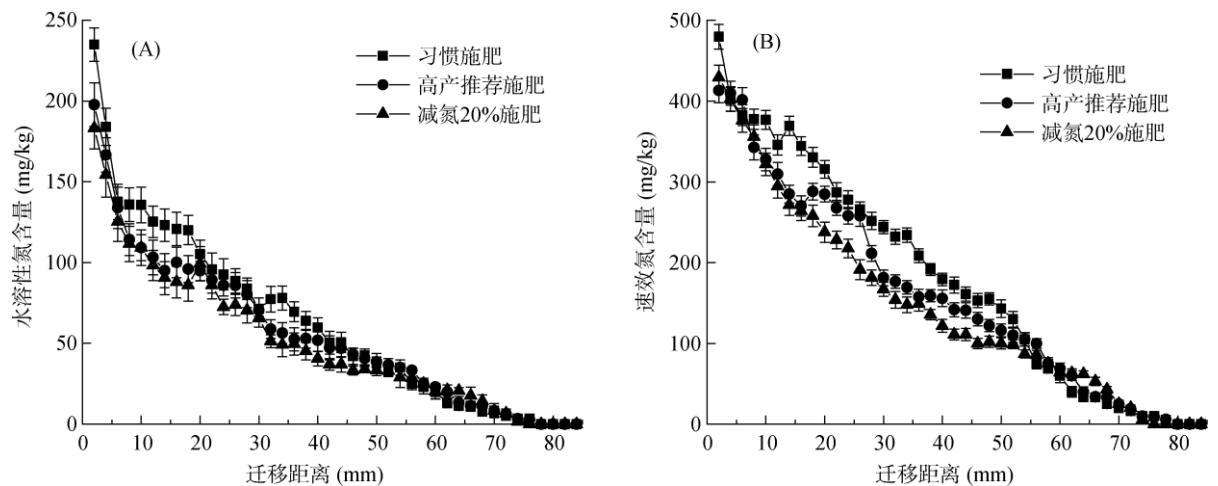


图 3 壤质潮土肥际微域水溶性氮与速效氮的迁移过程

Fig. 3 Migration of water-soluble and available nitrogen in fertisphere of loamy fluvo-aquic soil

2.2 氮肥减施对水溶性磷和有效磷迁移的影响

如表 4 所示, 减氮 20% 处理的砂质潮土与壤质潮土肥际微域中有效磷迁移量比例高于习惯施肥和高产推荐施肥处理, 分别增加了 7.27%、3.44% 和 3.79%、6.89%, 表明在施磷量相同的情况下减施氮肥可以增加复合肥料中磷素向砂质潮土和壤质潮土的迁移。有资料显示类似规律, 施氮 20 kg/hm² 与 30 kg/hm² 相比, 0~20 cm 土层有效磷含量相当, 20~40 cm 土层有效磷含量前者比后者高出 52.2%, 40~60 cm 土层有效磷含量则高出 64.7%^[17]。肥料氮水解和

硝化导致土壤中金属离子溶解, 磷酸盐沉淀出现, 降低了有效磷的迁移。

由图 4 与图 5 可知, 砂质潮土与壤质潮土肥际微域中水溶性磷和有效磷含量随迁移距离增大而降低。从图 4 中可看出, 砂质潮土各处理的水溶性磷和有效磷的迁移距离分别为 18 mm 和 24 mm, 在同一迁移距离的减氮 20% 处理水溶性磷和有效磷含量与习惯施肥处理、高产推荐施肥处理无显著性差异。从图 5 可看出, 壤质潮土各处理的水溶性磷和有效磷的迁移距离分别为 16 mm 和 22 mm。

表 4 供试土壤肥际微域中水溶性磷与有效磷量

Table 4 Water-soluble and available phosphours contents in soil fertisphere

处理	施磷量 (mg)	水溶性磷迁移量 (mg)		有效磷迁移量 (mg)		土体有效磷比例 (%)	
		砂质潮土	壤质潮土	砂质潮土	壤质潮土	砂质潮土	壤质潮土
习惯施肥	28.26	3.72	1.29	12.77	4.09	45.19 ± 1.11 b	14.50 ± 0.80 b
高产推荐施肥	28.26	3.86	1.11	13.23	3.98	46.82 ± 1.06 b	14.08 ± 0.85 b
减氮 20% 施肥	28.26	4.05	1.20	13.69	4.25	48.43 ± 0.36 a	15.05 ± 1.07 a

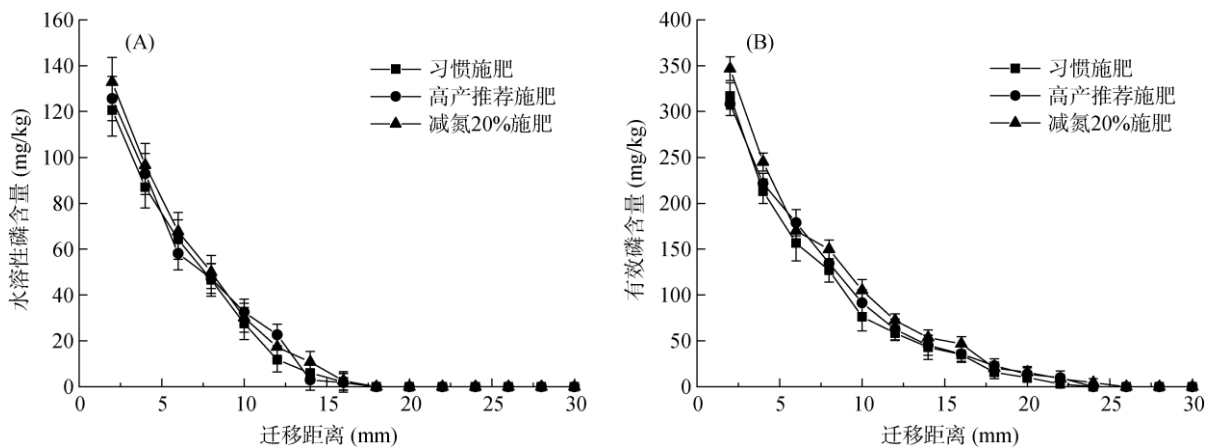


图 4 砂质潮土肥际微域水溶性磷与有效磷的迁移过程

Fig. 4 Migration of water-soluble and available phosphours in fertisphere of sandy fluvo-aquic soil

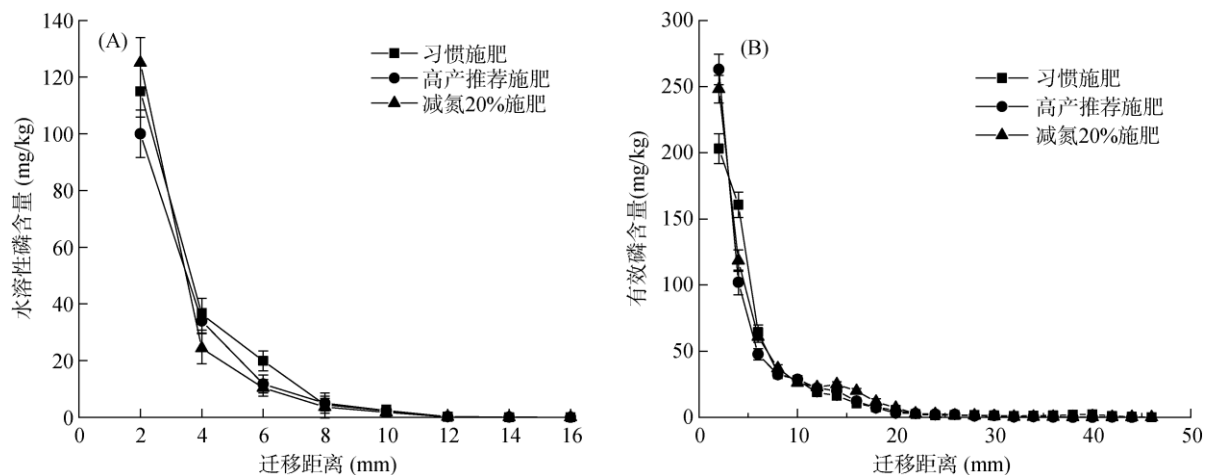


图 5 壤质潮土肥际微域水溶性磷与有效磷的迁移过程

Fig. 5 Migration of water-soluble and available phosphours in fertisphere of loamy fluvo-aquic soil

2.3 氮肥减施对水溶性钾和速效钾迁移的影响

砂质潮土与壤质潮土肥际微域水溶性钾与速效钾的迁移量如表 5 所示。砂质潮土各处理水溶性钾与速效钾的迁移量为减氮 20% 施肥处理最高, 习惯施肥处理最低, 这是由于 NH_4^+ 与 K^+ 在离子交换过程中相互竞争, 氮肥施用量的增加影响 K^+ 的交换, 抑制了水溶性钾与速效钾的迁移。砂质潮土减氮 20% 施肥处理的速效钾迁移量比例分别比习惯施肥和高产推荐施肥处理增加 13.14% 和 8.98%; 壤质潮土各处理的

迁移量顺序与砂质潮土相反。

由图 6 和图 7 可知, 砂质潮土与壤质潮土所有处理肥际微域中水溶性钾与速效钾的含量随迁移距离增大而降低。从图 6 可看出, 砂质潮土各处理的水溶性钾与速效钾的迁移距离随施氮量的减少而增大, 习惯施肥、高产推荐施肥和减氮 20% 施肥处理水溶性钾和速效钾的迁移距离依次为 38、40 和 44 mm; 且在距施肥点 16 mm 范围内, 减氮 20% 施肥处理的水溶性钾与速效钾含量显著高于其他处理。从图 7 可看

表 5 供试土壤肥际微域中水溶性钾与速效钾量
Table 5 Water-soluble and available potassium contents in soil fertisphere

处理	施钾量 (mg)	水溶性钾迁移量 (mg)		速效钾迁移量 (mg)		土体速效钾比例 (%)	
		砂质潮土	壤质潮土	砂质潮土	壤质潮土	砂质潮土	壤质潮土
习惯施肥	28.26	6.37	9.76	19.62	19.56	69.43 ± 0.911 c	69.29 ± 0.966 a
高产推荐施肥	28.26	6.72	9.52	20.37	18.96	72.08 ± 1.097 b	67.16 ± 1.105 b
减氮 20% 施肥	28.26	7.23	7.91	22.20	16.86	78.55 ± 1.081 a	59.72 ± 0.901 c

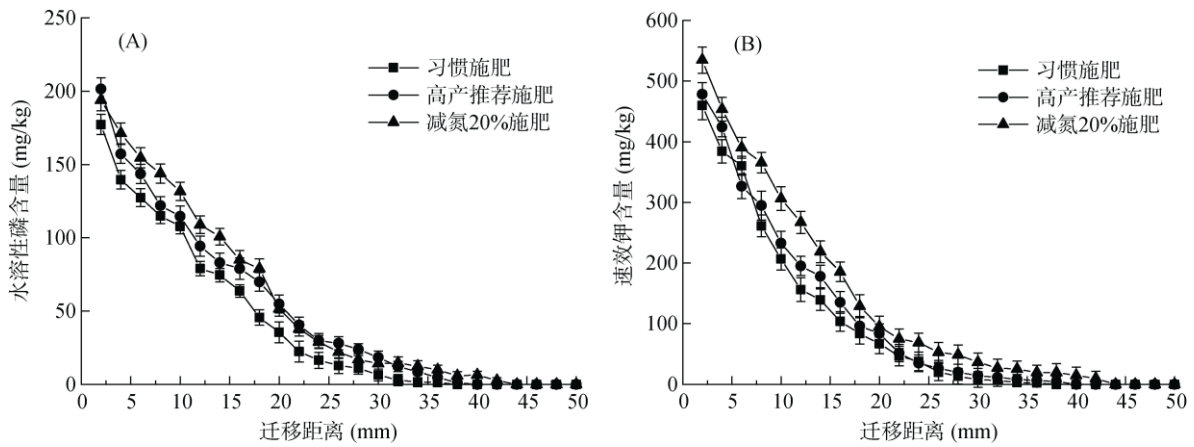


图 6 砂质潮土肥际微域水溶性钾与速效钾的迁移过程

Fig. 6 Migration of water-soluble and available potassium in fertisphere of sandy fluvo-aquic soil

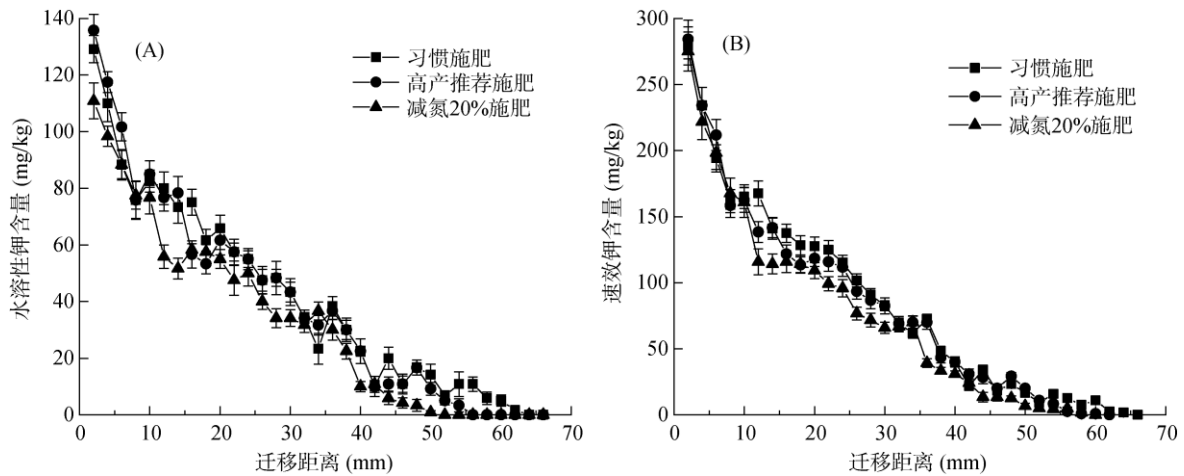


图 7 壤质潮土肥际微域水溶性钾与速效钾的迁移过程

Fig. 7 Migration of water-soluble and available potassium in fertisphere of loamy fluvo-aquic soil

出,壤质潮土各处理的水溶性钾与速效钾的迁移距离随施氮量的减少而减小,习惯施肥、高产推荐施肥和减氮 20%施肥处理水溶性钾和速效钾的迁移距离依次为 62、56 和 50 mm。

3 结论

以高产推荐施肥为基础,氮肥减施 20%时,复合肥料进入砂质潮土和壤质潮土肥际微域的速效氮量比例比习惯施肥增加了 15.71%、53.08%,比高产推荐施肥增加了 10.54%、14.28%;有效磷量比例比习惯施肥增加了 7.27%、3.44%,比高产推荐施肥增加了 3.79%、6.89%;砂质潮土速效钾量比例比习惯施肥、高产推荐施肥分别增加了 13.14%和 8.98%,壤质潮土则低于后两者。砂质潮土速效氮迁移距离与高产推荐施肥相当,为 46 mm,低于习惯施肥的 58 mm;有效磷迁移距离与习惯施肥、高产推荐施肥无显著性差异;速效钾迁移距离分别增加了 15.79%和 10.00%。壤质潮土速效氮、有效磷迁移距离与习惯施肥、高产推荐施肥无显著性差异,速效钾迁移距离低于两个处理。降低肥料用量,注重养分协同、水肥协同、作物吸收与土壤供应协同以及微区域环境条件协同等大数据的应用是实现肥料减施增效、提高肥料利用率的关键。

参考文献:

- [1] 鲍玉巧. 简化施肥对皖北夏玉米主要农艺性状、产量和品质的影响[D]. 凤阳县: 安徽科技学院, 2016.
- [2] 孔玮琳, 薛燕慧, 李进, 等. 不同氮水平下夏玉米夏大豆间作对其农艺性状及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2018, 50(7): 116–120.
- [3] Khanna M, Epouhe O F, Hornbaker R. Site-specific crop management: Adoption patterns and incentives[J]. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 1999, 21(2): 455–472.
- [4] 孙志梅, 武志杰, 陈利军, 等. 农业生产中的氮肥施用现状及其环境效应研究进展[J]. 土壤通报, 2006, 37(4): 782–786.
- [5] Duan Y H, Xu M G, Gao S D, et al. Nitrogen use efficiency in a wheat-corn cropping system from 15 years of manure and fertilizer applications[J]. *Field Crops Research*, 2014, 157: 47–56.
- [6] Liu X J, Ju X T, Zhang F S, et al. Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat-maize cropping system in the North China Plain[J]. *Field Crops Research*, 2003, 83(2): 111–124.
- [7] 臧贺藏, 王言景, 张杰, 等. 不同氮肥模式对夏玉米产量、蛋白质品质和氮素利用特性的影响[J]. 玉米科学, 2015, 23(6): 108–113.
- [8] 方辉, 范贵强, 高永红, 等. 施氮对不同小麦品种光合荧光特性及产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(1): 55–62.
- [9] 崔正果, 张恩萍, 王洪预, 等. 氮量减施对多年玉米秸秆还田地玉米产量与 N 素利用的影响[J]. 东北农业科学, 2021, 46(6): 22–25.
- [10] 王庆彬, 卢洁春, 彭春娥, 等. 不同氮量处理配施宛氏拟青霉提取物对小白菜生长和氮素吸收的影响[J]. 作物杂志, 2022(1): 190–195.
- [11] 王宜伦, 白由路, 王磊, 等. 基于养分专家系统的小麦-玉米推荐施肥效应研究[J]. 中国农业科学, 2015, 48(22): 4483–4492.
- [12] 张倩, 韩本高, 张博, 等. 控失尿素减施及不同配比对夏玉米产量及氮肥效率的影响[J]. 作物学报, 2022, 48(1): 180–192.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [14] 郝志远. 砂质潮土夏玉米减氮增效配方肥研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020.
- [15] Bouwman A F, Boumans L J M, Batjes N H. Estimation of global NH_3 volatilization loss from synthetic fertilizers and animal manure applied to arable lands and grasslands[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2002, 16(2): 8–1.
- [16] 王方斌. 氮肥减施对滴灌棉田氮素气态损失和棉花产量的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2020.
- [17] 戴良香, 宋文武, 丁红, 等. 开花期补充水肥对花生田土壤水分、氮磷养分时空变化特征的影响[J]. 水土保持研究, 2018, 25(5): 41–48.