

浅层施肥对水稻苗期养分吸收及土壤养分分布的影响^①

孙浩燕, 王 森, 李小坤*, 任 涛, 丛日环

(华中农业大学资源与环境学院/农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070)

摘 要: 采用盆栽土柱试验研究不同施肥深度对水稻秧苗生物量、养分吸收及土壤养分分布的影响, 以期为水稻育秧合理施肥提供理论依据。结果表明: 播种后 10 天, 各处理水稻生物量无显著差异; 播种后 20 天, 施肥深度 1 cm 处理生物量与其他处理相比平均显著增加 80.6%; 播种后 40 天, 施肥深度 1 cm 和 5 cm 处理与 10 cm 处理相比分别显著增加 70.9% 和 30.7%。养分吸收结果与生物量表现一致, 播种后 20 天, 施肥深度 1 cm 处理秧苗氮、磷、钾素吸收量分别平均提高 86.9%、156.9% 和 202.7%; 播种后 40 天, 施肥深度 1 cm 和 5 cm 处理与 10 cm 处理相比分别增加 52.3% 和 24.8%、23.8% 和 20.4%、50.5% 和 43.1%。随着生育进程的推进, 土壤有效养分含量均逐渐下降, 且有向下迁移的趋势; 其中施肥深度 1 cm 和 5 cm 处理 0~10 cm 土层中无机氮、速效磷、速效钾含量显著高于其他处理。适宜的浅层施肥明显促进水稻秧苗的生长发育, 浅层施肥方式施入的速效养分主要集中于土壤上层, 利于秧苗生长对养分的吸收, 提高秧苗养分含量, 增加养分吸收量, 有利于提高养分资源利用效率。

关键词: 浅层施肥; 水稻苗期; 养分吸收; 土壤养分分布

中图分类号: S511.5

水稻是我国最重要的粮食作物, 60% 的人口以稻米为主食^[1], 其生产对于确保我国粮食安全具有重要意义^[2]。传统水稻的基肥施用方式主要为表面撒施, 表层施肥养分流失量大、肥料利用率低、肥效差, 研究发现我国稻田氮肥吸收利用率为 30%~35%^[3], 磷肥当季吸收利用率仅为 11%~14%^[4], 钾肥吸收利用率约为 50% 左右^[5]。而施肥方式是影响肥料利用率的主要原因之一, 不同的养分供应位置显著影响作物根系的生长及养分的吸收。旱地作物上广泛推广的肥料深施技术, 解决了表面撒施的弊端, 提高了肥料利用率^[6-7]。旱地深根系作物对化肥深施技术表现出良好的效果, 在干旱条件下, 促进根系的下扎, 提高对养分、水分的吸收能力, 起到保水保肥作用, 但化肥深施不能仅仅考虑保肥作用, 应注重保肥、供肥、需肥三者相结合。张文玲等^[8]在小麦上的研究表明, 侧深施肥有利于氮素的转移, 氮肥利用率高、氮素损失少、土壤残留多, 是小麦的一种良好的施肥方法。赵四申等^[9]研究玉米施肥方式发现, 种肥靠近穴播玉米

一侧 5 cm 不等距的施肥方式有利于促进其产量的形成, 提高肥料利用率。杨越超等^[10]通过种肥接触水稻育苗试验研究发现, 在肥料用量相同的条件下, 控释肥在种子下方接触施用的施肥方式释放的氮素利于根系的吸收, 秧苗长势较好。已有研究发现浅层施肥促进水稻苗期根系的生长, 利于建成良好的根系构型, 改善了根系的分布状况^[11], 但未涉及浅层施肥条件下水稻养分资源利用及土壤养分分布情况。为此本文研究不同施肥深度对水稻苗期氮、磷、钾养分含量、吸收量及土壤养分分布的影响, 以期为水稻合理施肥、提高资源利用效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2013 年 7—9 月在华中农业大学资源与环境学院盆栽场内进行。试验采用盆栽土柱方式进行, 土柱由直径 15 cm、高 23 cm 的聚乙烯塑料管封底制成。供试土壤为花岗片麻岩发育的水稻土, 取自于湖

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303103)、中央高校基本科研业务费专项(2013PY113)和长江学者和创新团队发展计划项目(IRT1247)资助。

* 通讯作者(lixiaokun@mail.hzau.edu.cn)

作者简介: 孙浩燕(1989—), 女, 山东乳山人, 硕士研究生, 主要从事水稻养分管理及现代化施肥技术方面研究。E-mail: haoyan0711@webmail.hzau.edu.cn

北蕲春,耕层土壤理化性质:pH 4.95、有机质 31.4 g/kg、全氮 1.26 g/kg、无机氮 31.5 mg/kg、速效磷 8.9 mg/kg、速效钾 50.4 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设 5 个处理,分别为: 不施肥(CK); 施肥深度 1 cm(1 cm); 施肥深度 5 cm(5 cm); 施肥深度 10 cm(10 cm); 施肥深度 15 cm(15 cm),各处理 3 次重复,采取破坏性取样方式进行试验,取样时每个处理取样 3 盆。施肥处理的氮肥、磷肥和钾肥的用量均分别为 N 0.30 g/盆, P_2O_5 0.15 g/盆, K_2O 0.15 g/盆,分别以分析纯尿素、磷酸二氢钾、氯化钾为肥源,所有肥料一次性点施于不同深度土层中心位置。试验于 2013 年 7 月 7 日播种,出苗后(播种后 7 天)间苗,每盆定苗 1 株,分别于水稻播种后 10、20、30、40 天取样。

1.3 测试项目与方法

水稻齐地收割取地上部,植物样品分别测定地上部和根系的氮、磷、钾养分含量,测试方法为浓 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,流动注射分析仪(德国 SEAL-AA3)测定氮、磷含量,火焰光度计测定钾含量;养分含量、养分吸收量均为单质养分计算结果。将土柱从聚乙烯管中完整取出,切分为 0~5、5~10、10~15、15~20 cm 4 个土层,分离各土层中根系和土壤,各层土壤充分混匀取样待用,无机氮采用 2 mol/L KCl 浸提,用流动注射分析仪(德国 SEAL-AA3)测定;速效磷采用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提,用钼锑抗比色法测定;速效钾采用 1 mol/L NH_4Ac 浸提,用火焰光度计测定。供试土壤基本性质测定采用土壤理化分析常规方法^[12]。

试验数据的差异性检验采用 SPSS 数据处理系统,应用最小显著差数法(LSD)法进行分析;采用 Origin 软件绘制图表。

2 结果

2.1 不同施肥深度对秧苗生物量的影响

由图 1 可知,随着生育进程的推进,秧苗生物量呈现逐渐增加的趋势,播种后 20 天开始增长速率明显增加。播种后 10 天,各处理生物量无显著差异。播种后 20 天,处理间差异开始显现,表现为施肥深度 1 cm 处理生物量显著高于其他处理,与不施肥处理(CK)相比,增幅为 107.5%,与施肥深度 5 cm、10 cm 和 15 cm 相比,增幅分别为 75.7%、60.0% 和 79.3%。播种后 30 天、40 天,施肥处理的生物量均显著高于不施肥处理,其中播种后 30 天表现为施肥深度

1 cm>5 cm、10 cm、15 cm>CK,与不施肥处理相比,施肥深度 1 cm 处理生物量显著增加 482.2%,其他施肥处理增加 150% 左右;播种后 40 天表现为施肥深度 1 cm>5 cm>10 cm、15 cm>CK,与施肥深度 10 cm 处理相比,施肥深度 1 cm 和 5 cm 处理增幅分别为 70.9% 和 30.7%。施肥深度 1 cm 处理生物量表现出明显优势,播种后 40 天,施肥深度 5 cm 处理优势也有所体现,说明施肥较浅有利于水稻秧苗的生长。

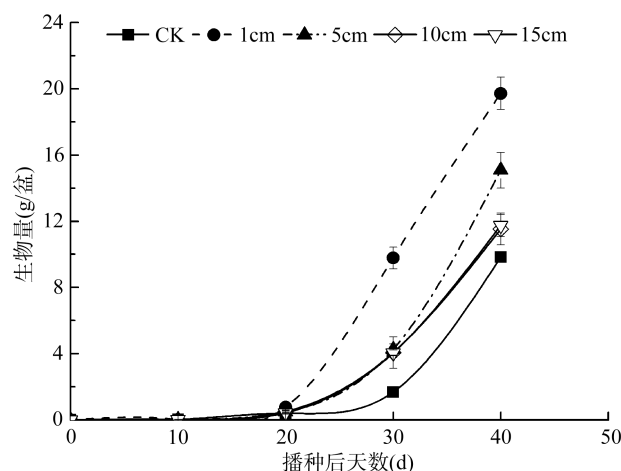


图 1 不同施肥深度处理下秧苗生物量动态变化

Fig. 1 The dynamic changes of rice biomasses under different fertilization depths

2.2 不同施肥深度对水稻苗期氮、磷、钾养分含量的影响

水稻秧苗养分含量如图 2 所示,氮、磷、钾养分含量总体呈现降低的趋势。播种后 10 天,各处理氮素含量没有显著差异;磷、钾素含量表现为施肥深度 1 cm 处理最高,与 CK 处理相比增幅分别达 38.4% 和 35.5%,其他施肥处理增幅也达到 15.0% 左右。播种后 20 天,氮、磷、钾养分含量都有所降低,其中氮素含量表现为施肥深度 1、5、10 cm 处理高于施肥深度 15 cm 和 CK 处理;磷、钾素含量表现为施肥深度 1 cm 处理显著高于其他处理,与 CK 处理相比分别增加 65.2% 和 72.6%。播种后 30 天、40 天,氮、磷、钾养分含量呈现下降趋势,施肥深度 1 cm 处理氮、磷、钾养分含量低于其他施肥处理,分别平均降低 6.1%、34.5%、16.2%,氮、磷素含量最高处理为施肥深度 10 cm 处理,钾素为施肥深度 5 cm 处理。

2.3 不同施肥深度对水稻苗期氮、磷、钾养分吸收量的影响

不同施肥深度处理下秧苗养分吸收量动态变化如图 3 所示,氮、磷、钾养分吸收量与生物量趋势相

似,随着生育进程的推进呈现增加趋势。播种后 10 天,各处理间氮、钾养分吸收量无显著差异,磷素吸收量表现为施肥深度 1 cm 处理显著高于其他处理。播种后 20 天,施肥深度 1 cm 处理氮、磷、钾养分吸收量均显著高于其他处理,与 CK 处理相比分别增加 124.2%、230.2%、256.2%,与其他施肥处理相比平均增加 74.5%、132.5%、184.9%。播种后 30 天,各处理间氮、磷、钾养分吸收量出现显著差异,表现为施肥深度 1 cm>5 cm、10 cm、15 cm>CK。播种后

40 天,氮素吸收量表现为施肥深度 1 cm>5 cm>10 cm、15 cm>CK,与施肥深度 10 cm 处理相比,施肥深度 1 cm 和 5 cm 处理分别增加 52.3%、24.8%;磷、钾素吸收量表现为施肥深度 1 cm、5 cm>10 cm、15 cm>CK,施肥深度 1 cm 和 5 cm 处理分别比施肥深度 10 cm 处理增加 23.8% 和 20.4%、50.5% 和 43.1%。施肥深度 1 cm、5 cm 处理水稻养分吸收量优势明显,说明适宜的浅层施肥有利于提高水稻秧苗对养分的吸收利用。

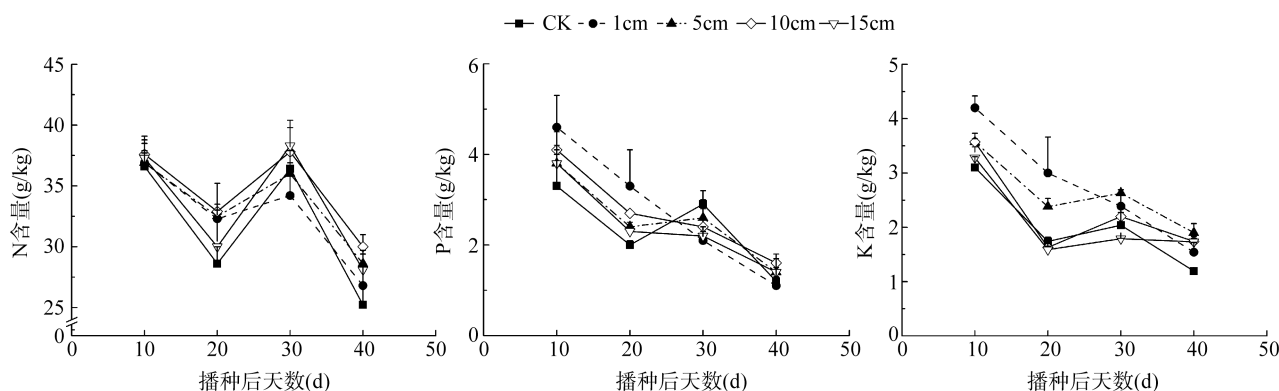
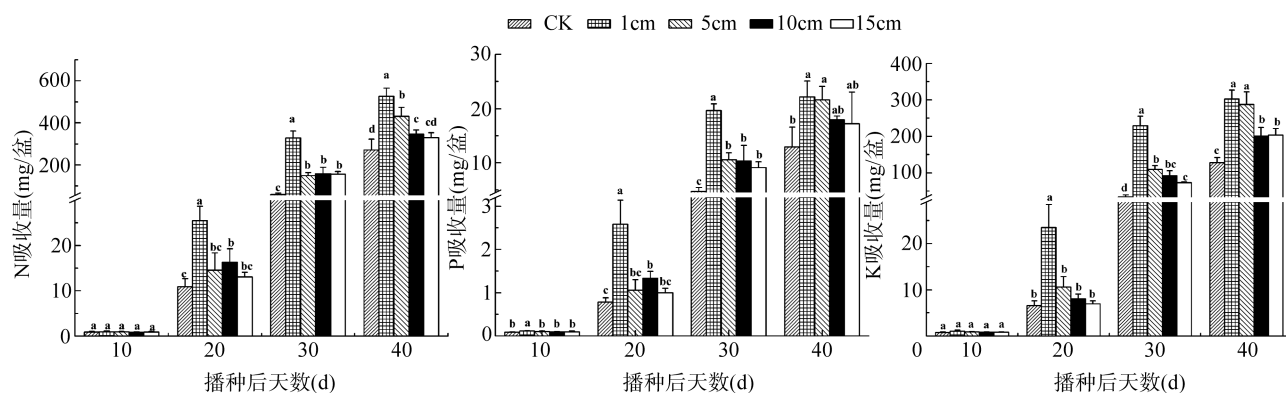


图 2 不同施肥深度处理下水稻养分含量动态变化

Fig. 2 The dynamic changes of rice nutrient contents under different fertilization depths



(图中多重比较仅限于同一取样时期,不同字母表示处理间差异在 $P < 0.05$ 水平显著)

图 3 不同施肥深度处理下水稻养分吸收量动态变化

Fig. 3 The dynamic changes of rice nutrient uptakes under different fertilization depths

2.4 不同施肥深度对土壤氮、磷、钾养分分布的影响

土壤无机氮含量分布如图 4 所示,各生育时期施肥处理土壤无机氮含量都高于不施肥处理,且随着生育进程的推进呈现逐渐降低的趋势,且土壤无机氮有随水向下迁移的趋势,表现为各处理 10~20 cm 土层无机氮含量高于 0~10 cm 土层,其中施肥深度 1、5 cm 处理 0~10 cm 土层无机氮含量高于施肥深度 10、15 cm 处理,10~20 cm 土层结果则相反。

土壤速效磷、速效钾含量与无机氮表现出同样的趋势。速效磷、速效钾也有随水向下迁移的趋势,但

趋势不及无机氮明显,表现为施肥深度 1、5、10、15 cm 处理分别于 0~5、5~10、10~15、15~20 cm 土层速效磷、速效钾含量高于其他土层,而不施肥处理土壤速效磷含量表现为上层(0~10 cm)高于下层(10~20 cm),速效钾含量各层差异不大。施肥较浅使有效养分主要集中于土壤上层,利于秧苗根系对养分的吸收。

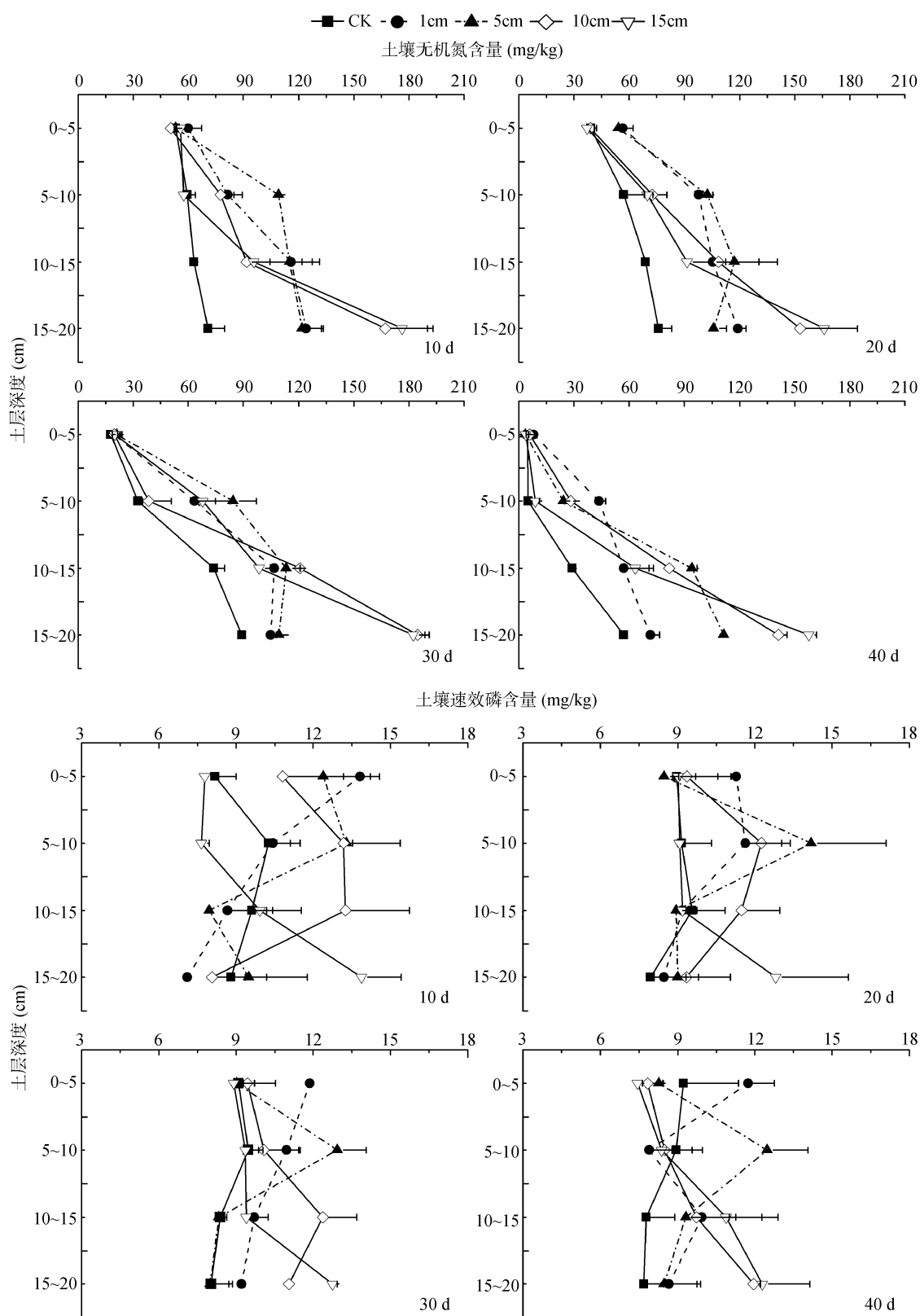
3 讨论

3.1 不同施肥深度下水稻苗期养分吸收的差异

施肥深度直接影响土壤养分的供应状态,对作物

生长、肥料利用、土壤养分转化以及环境效应有着重要影响^[13]。不同施肥深度对水稻秧苗生长发育产生重要影响,各施肥深度处理间水稻生物量呈现出显著的差异。施肥深度 1 cm 处理根系生长分布状况优于其他处理,进而促进了其对养分的吸收。播种后 0 ~

20 天根系生长缓慢,根系主要集中于 0 ~ 5 cm 土层中吸收范围有限,浅层施肥施入的速效养分能够较快被根系吸收,缩短了养分迁移到根表的距离,提高了水稻对养分的吸收速率^[14]。播种后 30 天,随着水稻根系突破横向生长,逐渐向下伸长,接触到深层次的



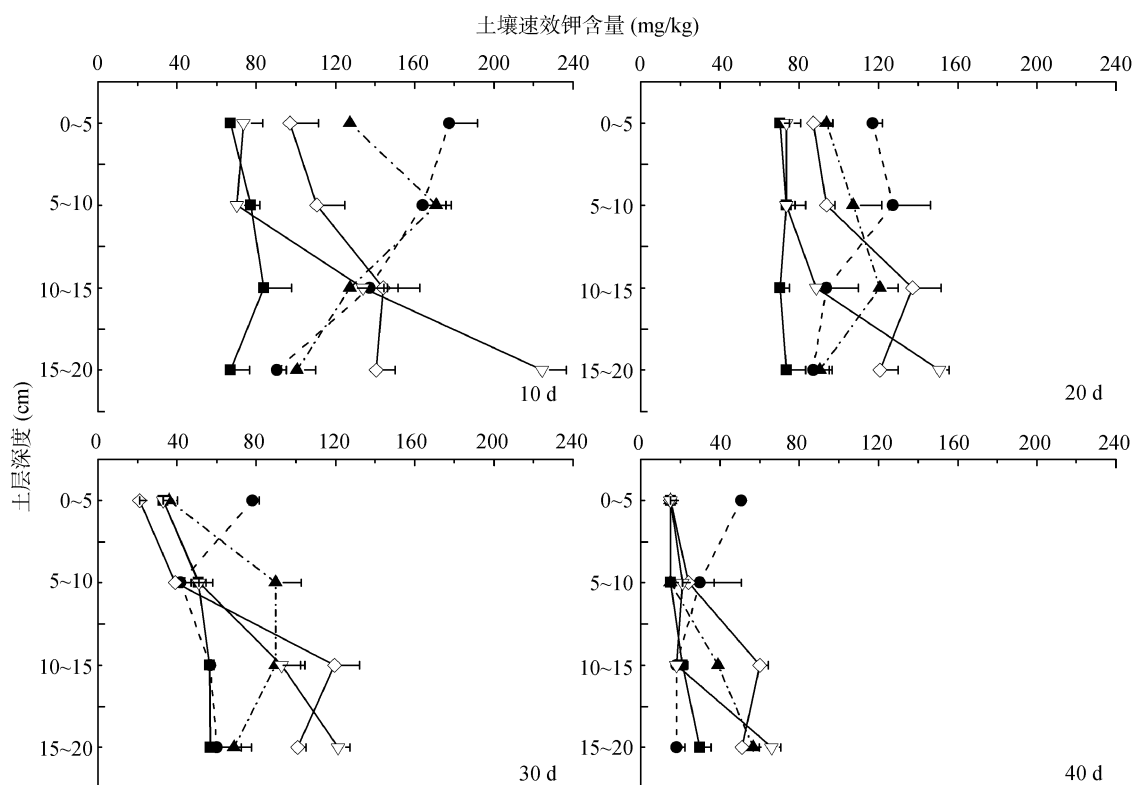


图4 不同施肥深度处理下土壤养分分布动态变化

Fig. 4 The dynamic changes of soil nutrient distributions under different fertilization depths

养分位点,促进对养分吸收,养分吸收速率加快,施肥深度5、10、15 cm处理养分吸收量显著增加,生物量也随之增加^[15]。本试验条件下,浅层施肥处理秧苗生物量及养分吸收量均表现最优,生物量及养分吸收的良好表现是对根系生长分布状况的响应,是提高水稻抗逆性的基础,是保证水稻高产稳产的重要基础。

3.2 不同施肥深度下土壤养分分布的差异

王夏晖等^[16]通过研究总结得出,孔源施肥达到了氮肥集中施用效果,消除了表聚现象的发生,协调了水肥关系,具有减少氮素渗漏、地表径流冲刷等损失的作用,最终提高了肥料利用率。为此本试验采用点施的施肥方式,研究不同施肥方式对水稻苗期的养分吸收及土壤养分分布情况。氮素在土壤中移动性强,本试验供试土壤系砂壤,较大的蒸发量和浇水量,导致超过秧苗生长所需要的氮素明显向下层土壤迁移^[17-18],吴金桂^[19]研究发现,尿素施用位置越深,随水下渗的氮素浓度越高。水稻生长前期根系以横向生长为主,分蘖后期才开始向下伸长,施肥深度为10、15 cm处理养分集中分布于下层土壤中,不利于根系对施入的速效养分的吸收。磷素在土壤中极易被土壤颗粒所吸附,上层土壤根系生物量大,分泌有机酸活化闭蓄态磷量多,致使不施肥处理上层土壤速效

磷含量高于下层^[20]。磷素在土壤中移动性较差,但仍有部分磷素会随径流、渗漏等途径迁移^[21],表现为施肥位点下层土壤速效磷含量较高。磷肥的施用深度影响着作物对磷素的吸收强度,苗期适当的浅层施肥,使根系尽早吸收到有效养分,减少了有效磷素的固定,提高根系对养分的吸收能力,促进水稻的生长。钾也是易于在土壤中移动的元素,和林涛等^[22]对紫色土施钾后渗漏淋失情况调查研究发现,水稻季钾素的表现淋失率高达26.1%,施肥位置越深,底层土壤速效钾含量越高,不利于根系对钾素资源的吸收。

水稻生长前期浅层施肥处理施入的速效养分主要集中在土壤上层,利于浅层水稻根系对养分的吸收利用,促进秧苗生长,减少了淋洗的养分浪费,提高了土壤水分和养分资源利用效率,有利于肥料利用率的提高,对水稻产业的可持续发展具有促进作用。

4 结论

浅层施肥可以促进水稻苗期生长,提高氮、磷、钾养分吸收能力。随着生育进程的推进,土壤有效养分含量均逐渐下降,且有向下迁移的趋势,其中施肥深度1 cm和5 cm处理上层土壤有效养分含量高于其他处理。适宜的浅层施肥使有效养分集中分布于土壤上层,符合水稻根系分布特性,利于根系对养分的吸

收利用,促进秧苗的生长和养分的累积。

参考文献:

- [1] 方福平, 程式华. 论中国水稻生产能力[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(6): 559-566
- [2] 朱德峰, 程式华, 张玉屏, 林贤青, 陈慧哲. 全球水稻生产现状与制约因素分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(3): 474-479
- [3] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 杨建昌, 王光火, 邹应斌, 张福锁, 朱庆森, Roland B, Christian W. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1 095-1 103
- [4] 王伟妮, 鲁剑巍, 鲁明星, 李小坤, 李云春, 李慧. 湖北省早、中、晚稻施磷增产效应及磷肥利用率研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 795-802
- [5] 王伟妮, 鲁剑巍, 鲁明星, 李小坤, 李云春, 李慧. 湖北省早、中、晚稻施钾增产效应及钾肥利用率研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5): 1 058-1 065
- [6] Roger PA, Kulasooriya SA, Tirol AC, Craswell ET. Deep placement: A Method of nitrogen fertilizer application compatible with algal nitrogen fixation in wetland rice soils[J]. Plant and Soil, 1980, 57(1): 137-142
- [7] 吕殿青, 高华, 方日尧, 谷洁, 李旭晖. 渭北旱塬冬小麦产区提前深耕一次深施肥料的肥水效应与理论分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 269-275
- [8] 张文玲, 王文科, 李桂花. 施肥方式对小麦品种生长及氮肥利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009(2): 47-51
- [9] 赵四申, 王秀, 高清海, 马大敏, 王慧欣. 不同机械施肥方式对玉米生长发育及产量效应的影响[J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 123-127
- [10] 杨越超, 张民, 陈剑秋, 段路路, 耿毓清, 郑磊. 控释氮肥对水稻秧苗形态特征和生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1 126-1 135
- [11] 孙浩燕, 李小坤, 任涛, 丛日环, 鲁剑巍. 浅层施肥对水稻苗期根系生长及分布的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(12): 2 476-2 484
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [13] Ma QH, Zhang FS, Zed R, Shen JB. Localized application of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ plus P at the seedling and later growth stages enhances nutrient uptake and maize yield by inducing lateral root proliferation [J]. Plant Soil, 2013(372): 65-80
- [14] 宋海星, 李生秀. 根系的吸收作用及土壤水分对硝态氮、铵态氮分布的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(1): 96-101
- [15] 邹长明, 秦道珠, 徐明岗, 申华平, 王伯仁. 水稻的氮磷钾养分吸收特性及其与产量的关系[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25 (4): 6-10
- [16] 王夏晖, 刘军, 王益权. 不同施肥方式下土壤氮素的迁移特性研究[J]. 土壤通报, 2002(3): 161-165
- [17] Peng YF, Yu P, Li XX, Li CJ. Determination of the critical soil mineral nitrogen concentration for maximizing maize grain yield [J]. Plant Soil, 2013(372): 41-51
- [18] 杨宪龙, 路永莉, 同延安, 林文, 梁婷. 施氮和秸秆还田对小麦-玉米轮作农田硝态氮淋溶的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(3): 564-573
- [19] 吴金桂. 尿素不同施肥深度的吸附、渗透特点及增产效果[J]. 江苏农业科学, 1985(12): 18-20
- [20] 曹志洪, 林先贵, 杨林章, 胡正义, 董元华, 尹睿. 论“稻田圈”在保护城乡生态环境中的功能 I .稻田土壤磷素径流迁移流失的特征[J]. 土壤学报, 2005, 42(5): 799-804
- [21] An DS, Lars V, Karin H, Pieter DF, Laurent A, David LA, Jeroen S, Lander B, Luc DK, Stefaan DN, Kris V. Four decades of post-agricultural forest development have caused major redistributions of soil phosphorus fractions[J]. Oecologia, 2012(169): 221-234
- [22] 和林涛, 石孝均, 易时来. 不同氮处理下紫色土钾素淋失动态研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2007, 29(7): 96-101

Effects of Shallow Fertilization on Rice Nutrient Uptake and Soil Nutrient Distribution at Seedling Stage

SUN Hao-yan, WANG Sen, LI Xiao-kun^{*}, REN Tao, CONG Ri-huan

(College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtse River), Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China)

Abstract: The effects of different fertilization depths on rice biomass and nutrition uptake and soil nutrient distribution were studied by using potting soil column experiment in order to provide theoretical basis for rice seedling rational fertilization. The results showed that biomasses had no significant differences among the treatments at 10 d after sowing, 1 cm treatment was 80.6% averagely higher than others at 20 d after sowing, 1 cm and 5 cm treatments were 70.9% and 30.7% higher than 10 cm treatment at 40 d after sowing, respectively. Nutrient uptake showed similar trend as biomass, compared with the 10 cm treatment, N, P and K absorbing amounts of 1 cm and 5 cm treatments were increased by 52.3% and 24.8%, 23.8% and 20.4%, 50.5% and 43.1%, respectively. With the growth of rice, soil available nutrient contents decreased gradually and transferred down. Inorganic nitrogen, available phosphorus and potassium contents of 1 cm and 5 cm treatments were significantly higher than others in 0 – 10 cm soil layer. The available nutrients brought from shallow fertilization mainly concentrated in the upper soil, which can promote rice seedling growth, increase nutrient uptake and improve the nutrient status in seedling field.

Key words: Fertilizer in shallow soils; Rice at seedling stage; Nutrition absorption; Distribution of soil nutrition