

水分对旱稻土壤及植株中主要营养元素含量的影响*

赵全志, 高桐梅, 殷春渊, 宁慧峰, 吕 强

(河南农业大学河南省作物生长发育调控重点实验室, 河南 郑州 450002)

摘 要: 在防雨棚池栽条件下研究了不同水分处理下土壤矿质元素的释放及早稻植株对矿质元素的吸收利用特点。结果表明: 土壤水分对土壤N、P、K含量及植株养分吸收存在明显影响。随着土壤水分含量的提高, 土壤硝态氮含量显著下降, 氨态氮含量显著上升; 磷素在低水分处理下先升高后基本保持较高水平, 而在高水分处理下有一个升降升的变化过程; 钾素在65%、100%水分处理下在分蘖中后期显著大于其它水分处理, 而在分蘖前期各水分处理都有一个先降后升的变化趋势。在植株对矿质元素的吸收上, 100%水分处理下植株体内的全氮含量一直呈下降趋势, 65%、75%处理下磷素变化呈“U”型, 其余各处理下植株体内的N、P、K含量都呈W型变化。随土壤含水量的增加, 旱稻植株对N、P、K的吸收总量均增加。

关键词: 土壤水分; 旱稻; 主要养分含量

中图分类号: S511.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)02-0061-05

水和土壤是作物生长发育的物质基础, 保持适宜的水分和养分平衡具有重要意义。水肥之间存在着复杂的交互作用^[1,2], 土壤水分影响肥料的释放速度、释放形式以及植株对肥料的获取、吸收和利用^[3], 但前人研究多集中在单一因素, 较少综合考虑土壤N、P、K释放与植株吸收N、P、K的关系^[4~9]。我们以旱稻277为材料, 研究不同水分处理下土壤矿质元素供应情况及植株吸收矿质元素的特点, 以期水稻旱作及早直播稻的合理灌溉及施肥提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

2004年在河南农业大学科教园区进行池栽, 池长6 m, 宽1 m, 深1 m, 四周及底部铺设双层塑料薄膜以防水分下渗, 池上方搭防雨棚以遮挡天然降水。供试土壤为潮土, 土壤容重为 1.43 g/cm^3 , 有机质含量为 9.31 g/kg , 全氮为 134.87 mg/kg , 速效磷为 29.58 mg/kg , 速效钾为 175.22 mg/kg , 土壤田间最大持水量为29.78%。小区每 666.7 m^2 按照施纯氮15 kg标准施肥, N:P₂O₅:K₂O=2:1:3, 其中N肥的60%作基肥施入, P₂O₅和K₂O全作底肥施入。

供试品种为旱稻277。6月15日进行旱直播, 在出苗前保持土壤湿润。三叶期开始进行水分处理。采

用真空表式负压计(中国科学院南京土壤研究所生产)监测土壤水分含量变化, 每天下午6:00补充因蒸发及稻株蒸腾而损失的水量。共设5个水分梯度处理, 分别为田间最大持水量的65%(W₁含水量19.36%)、75%(W₂含水量22.34%)、85%(W₃含水量25.31%)、95%(W₄含水量28.29%)、100%(W₅含水量29.78%)。

1.2 测定指标及方法

于5叶时开始取样, 每次取样间隔5~6 d, 其中土壤样品是用土钻取0~20 cm土层土壤, 置于4℃冰箱中保存, 待样品取齐后统一测定; 植株样品取心叶下的3张完全展开功能叶及叶鞘, 105℃下杀青15~20 min, 然后在80℃下烘干, 置于干燥处保存, 待样品取齐后统一测定。

土壤硝态氮测定采用酚二磺酸比色法^[9], 速效磷采用钼锑抗比色法, 速效钾采用火焰光度法; 植株样品用H₂SO₄-H₂O₂统一消煮, 消煮液分别采用开氏定氮法测全氮、钼锑抗比色法测全磷、火焰光度法测全钾^[10]。

1.3 数据处理

数据处理在Excel2003中进行, 土壤N、P、K含量单位为mg/kg, 植株N、P、K含量采用不同生育时期每公顷植株吸收N、P、K的总量表示。

* 收稿日期: 2005-10-21

基金项目: 国家863计划项目子专题(2004AA2Z4331-41); 河南省科技攻关重点项目(0523041300)。

作者简介: 赵全志(1968-), 男, 河南平舆人, 副教授, 博士, 主要从事作物生理生态研究。E-mail: qzhaoh@sohu.com

2 结果与分析

2.1 水分对土壤 N、P、K 的释放影响

2.1.1 土壤硝态氮含量变化 不同水分处理下土壤硝态氮含量的动态变化结果见图 1。

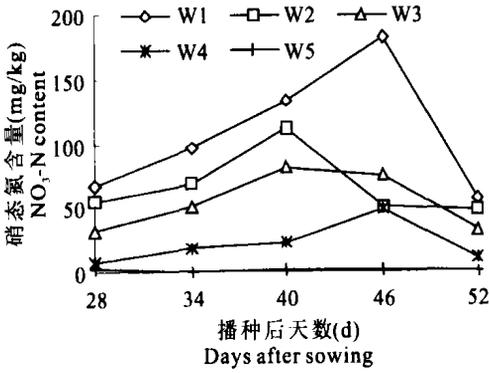


图1 不同水分处理下土壤硝态氮含量变化
Fig.1 The changes of soil NO₃-N content under different moisture treatments

从图 1 可以看出,在不同的水分条件下土壤硝态氮基本上表现为随生育进程逐步升高而后下降的变化趋势,其中W₁、W₄处理表现为从播种后28 d到46 d达到高峰,而后下降,W₂、W₃处理则在播种后40 d达到高峰,而W₅处理,硝态氮含量基本上稳定在较低水平。不同水分处理间的差异分析表明,从播种后28 d到52 d,土壤硝态氮含量平均值分别为W₁107.2 mg/kg, W₂66.7 mg/kg, W₃53.9 mg/kg, W₄21.8 mg/kg, W₅1.6 mg/kg,表现为随土壤含水量的增加,土壤硝态氮含量明显下降。方差分析结果表明,差异达极显著水平($F = 10.31, F_{0.01} = 4.43$)。这说明随着土壤水分含量的减少,土壤硝态氮含量增加,促使了土壤中氮素的硝化作用,硝态氮含量迅速增加,而在饱和水条件下,硝化作用不明显。

2.1.2 土壤氨态氮含量变化 不同水分处理下土壤氨态氮含量的动态变化结果见图2。从图2可以看出,在不同的水分条件下土壤氨态氮基本上表现为逐步下降而后升高的变化趋势,其中W₁、W₄、W₅处理表现为随生育进程从播种后28 d到46 d降至低谷,而后回升,W₂、W₃处理则在播种后40 d降至低谷。不同水分处理间的差异分析表明,从播种后28 d到52 d,土壤氨态氮含量平均值,W₁为53.0 mg/kg, W₂为68.2 mg/kg, W₃为72.9 mg/kg, W₄为114.6 mg/kg, W₅为131.6 mg/kg,表现为随土壤含水量的增加,土壤氨态氮含量明显升高。方差分析结果表明,差异达极显著水平($F = 4.68, F_{0.01} = 4.43$)。这

说明,随着土壤水分含量的升高,土壤氨态氮含量增加。

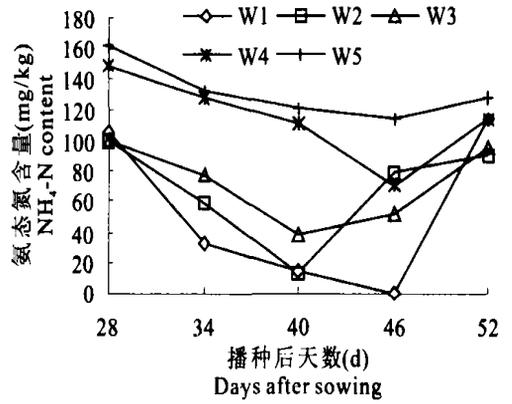


图2 不同水分处理下土壤氨态氮含量变化
Fig.2 The changes of soil NH₄⁺-N content under different moisture treatments

2.1.3 土壤速效磷含量变化 不同水分处理下土壤速效磷含量的动态变化结果见图3。可以看出,由于土壤中磷素形态的多样性,土壤水分对有效磷含量的影响随着时间的变化没有明显的规律。方差分析结果表明,处理间差异不显著。

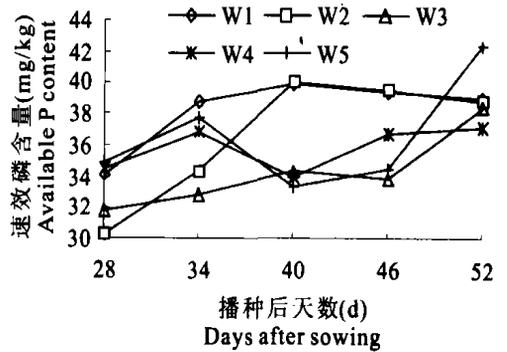


图3 不同水分处理下土壤速效磷含量变化
Fig.3 The changes of soil available P content under different moisture treatments

2.1.4 土壤有效钾含量变化 不同水分处理下土壤有效钾含量的动态变化结果见图4。从图4可以看出,在不同水分条件下土壤有效钾基本上表现为随生育进程先下降而后逐步升高的趋势。但不同土壤水分对土壤有效钾含量的影响没有明显的变化规律。方差分析结果表明,处理间差异不显著。

2.2 水分对植株吸收矿质元素的影响

2.2.1 每公顷吸收氮素动态变化 不同水分处理下植株每公顷氮素吸收量变化动态结果见图5。

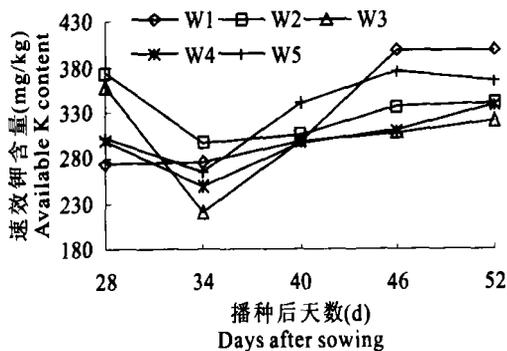


图4 不同水分处理下土壤有效钾含量变化

Fig. 4 The changes of soil available K content under different moisture treatments

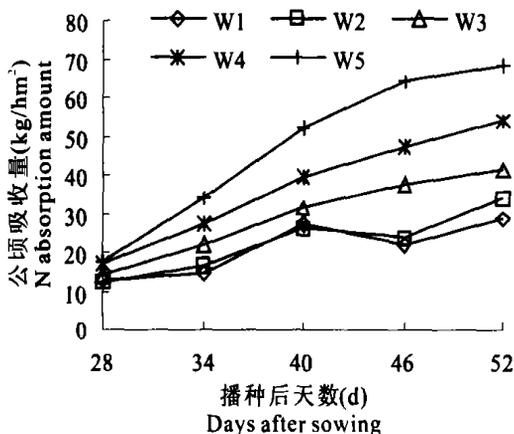


图5 每公顷氮吸收量变化动态

Fig. 5 Dynamic changes of N absorption amount

从图5可以看出,随植株生育进展,不同水分处理每公顷吸收氮素的量均表现出逐渐增加的变化趋势。其中从播种后28 d到40 d,由于植株增加幅度较大,处于分蘖盛期,营养体增大迅速,而从40 d以后,各处理增加幅度均逐渐减少。方差分析结果表明,各水分处理间植株公顷氮素吸收量差异达显著水平($F = 3.18, F_{0.05} = 2.87, F_{0.01} = 4.43$)。这说明,随着土壤水分含量的增加,植株个体发育充分,群体生长旺盛,单位面积氮素积累量显著提高,相反在较低的土壤水分条件下,如W₁、W₂中,植株生长缓慢,个体绿叶面积减小,每公顷氮素积累量处于较低水平,且变化不稳定。

2.2.2 每公顷吸收磷素动态变化 图6为不同水分处理下植株公顷磷素吸收量动态变化图。

从图6可以看出,各处理每公顷吸收磷量均逐渐增加。不同处理间吸收磷量增加幅度不同,从28 d到40 d,各处理吸收磷平均增加1.11%,其中W₅处

理增加1.94%,较W₁、W₂分别增加1.55%、1.64%,而从40 d到52 d,吸收磷量平均增幅1.65%,其中, W₅增加2.83%,分别较W₁、W₂增加1.77%、1.31%。方差分析结果表明,各水分处理间植株单位面积磷素吸收量差异达显著水平($F = 3.66, F_{0.05} = 2.87, F_{0.01} = 4.43$),这说明,随土壤水分含量增加,有利于旱稻植株对磷的吸收。

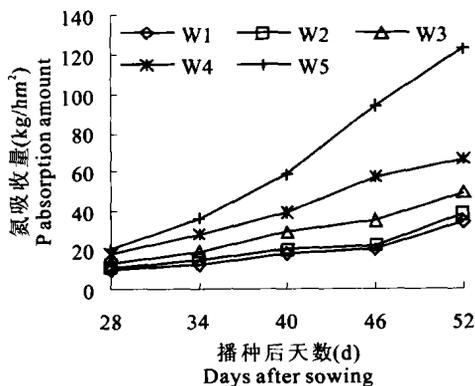


图6 每公顷磷素吸收量变化动态

Fig. 6 Dynamic changes of P absorption amount

2.2.3 每公顷吸收钾素动态变化 不同水分处理下植株每公顷钾素吸收量变化动态结果见图7。可以看出,各处理每公顷吸收钾量均逐渐增加。不同处理间吸收钾量增加幅度不同,从28 d到40 d,各处理吸收钾平均增加1.18%,其中W₅处理增加1.93%,较W₁、W₂分别增加1.15%、1.08%,而从40 d到52 d,吸收钾量平均增幅1.89%,其中, W₅增加3.27%,分别较W₁、W₂增加1.67%、1.69%。方差分析结果表明,各水分处理间植株hm²钾素吸收量差异达显著水平($F = 3.39, F_{0.05} = 2.87, F_{0.01} = 4.43$),这说明,随着土壤水分含量的增加,植株个体发育充分,群体生长旺盛,每公顷钾素积累量显著提高,相反在较低的土壤水分条件下,如W₁、W₂中,植株吸钾能力降低。

2.3 不同水分处理下植株吸收矿质元素的关联度分析

采用灰色系统关联度分析方法,其原理是根据离散序列之间几何形状的相似程度来判断关联性大小。在这里,取同等水分处理下土壤矿质元素含量序列、植株中矿质元素含量序列为特征序列,即

设 $X = (X_i = x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)), i = 0, 1, \dots, m$ 为特征序列集合,给定实数 $\gamma(x_0(k), x_i(k))$, $\gamma(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k))$, 称为 X_i 对 X_0 灰色关联度, $\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{m + \theta}{|x_0(k) - x_i(k)| + \theta}$ 为

X_i 对 X_0 在 k 点的关联系数。其中 $m = \min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$, $M = \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$, ϵ 为分辨系数, 在这里取 $0.5^{[11]}$ 。

经计算得不同水分处理下, 土壤矿质元素含量对植株矿质元素吸收量的关联度见表 1。

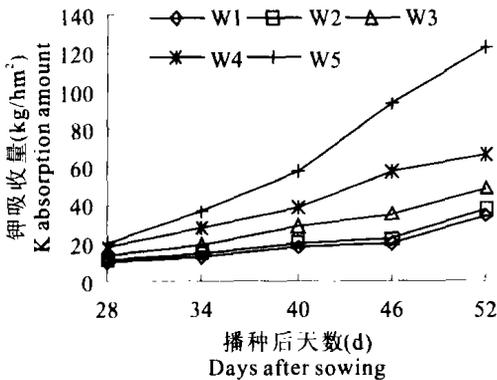


图7 每公顷钾素吸收量变化动态

Fig. 7 Dynamic changes of K absorption amount

表1 土壤N、P、K对植株N、P、K吸收关联度分析

Table 1 Correlative analysis between N, P, K contents in soil and absorption by upland rice plants

处理 Treatments	N	P	K
W1	0.65	0.69	0.67
W2	0.71	0.70	0.62
W3	0.76	0.61	0.58
W4	0.65	0.59	0.57
W5	0.53	0.61	0.61

从表 1 可以看出, 随着土壤含水量的增加, 土壤氮含量与植株吸收氮量的关联度呈先增加后减小的变化趋势。这说明在较高的土壤水分或较低的土壤水分条件下, 增施氮素都不能有效促使作物吸收氮素, 提高肥料利用率, 而在适度的水分条件下, 增施氮肥能促使作物吸收氮素。而对于磷、钾肥的关联度分析结果与氮肥相反, 这说明土壤中磷、钾含量的变化及植株对磷、钾的吸收比较复杂, 不仅受土壤水分含量的影响, 也可能与其它因素如土壤 pH 值、温度、通气及土壤微生物的变化有关, 关于这方面的结论有待深入研究。

3 结论与讨论

在土壤环境因子中, 影响养分释放及向根表质流的主要因子是土壤水势, 缺水使土壤水势下降, 土壤孔隙被空气充满, 营养元素向根表移动缓慢。Mengel 等认为水分是矿质养分溶解的介质和矿质养分迁移的载体^[12]。钱晓晴等研究认为土壤水分主要影响土壤中氮的存在形态及供氮方式, 在水田条

件下土壤中氮主要以氨态氮形式存在, 而旱田条件下则主要以硝态氮形式存在^[2,13,14]。李生秀等研究表明随土壤含水量的增加土壤速效磷含量降低^[8,15,16]。Menel 和 Braunschweig 也发现随着土壤含水量增加, 肥料 K 的有效性显著增加^[17]。但上述研究均为不同类型作物种植条件下的单一研究结果。本文以旱稻为试材的研究结果表明, 随土壤含水量的减少, 土壤供氮主要以硝态氮形式为主, 随土壤含水量增加, 速效磷含量先下降后上升, 而有效钾的含量与磷相反, 这一结果与前人的研究结果基本一致。这说明土壤水分对土壤养分含量的影响受种植作物的种类差异不大。

对于水分胁迫下作物对矿质元素的吸收, 多数研究表明, 缺水影响夏大豆对 N、P₂O₅、K₂O 的总的吸收量^[18], 王朝辉研究结果表明分蘖期缺水, 使冬小麦对矿质元素的吸收氮下降 40.6%~72%, 磷下降 40.5%~72.4%, 钾下降 25.9%~69.5%^[19]。Strong^[20] 等认为植物对磷的吸收与土壤含水量呈直线正相关, 尹金来^[21] 研究也认为水作水稻较早作水稻吸磷能力增强。土壤水分胁迫显著降低单位根长的吸钾量^[5]。本研究结果也进一步证明, 随土壤含水量的增加, 旱稻植株对氮、磷、钾的吸收表现为显著增加的趋势。根据关联度分析表明, 在 75%~85% 土壤含水量范围内增施氮肥, 有利于旱直播稻对氮素的吸收利用, 而在 65%~75% 土壤含水量范围内增施磷、钾肥, 有利于旱直播稻对磷、钾肥的吸收利用, 其作用机理尚有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 张树兰, 杨学云, 吕殿青, 等. 温度、水分及不同氮源对土壤消化作用的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2147-2153.
- [2] 钱晓晴, 沈其荣, 王娟娟, 等. 模拟水分胁迫条件下水稻的氮素营养特征[J]. 南京农业大学学报, 2003, 26(4): 9-12.
- [3] Verasan V, Ronald E Phillipps. Effects of soil water, stress, on growth and nutrient accumulation in corn[J]. Agron, 1978, 70: 613-618.
- [4] 徐明岗, 张一平, 王锐群. 土壤磷扩散规律及其能量特征的研究, I. 水分、质地、温度及其相互作用对磷扩散的影响[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 148-157.
- [5] 王敬国, 陈新平, 李晓林, 等. 土壤含水量和施钾深度对春小麦吸钾的影响[J]. 北京农业大学学报, 1995, 21(增刊): 66-70.
- [6] Yoshida S. Factors that limit the growth and yields of upland rice in major research in upland rice[M]. Manila: International Rice Research Institute. 1975: 46-71.
- [7] 王绍华, 曹卫星, 丁艳锋, 等. 水氮互作对水稻氮吸收与利用的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(4): 497-501.

- [8] 何圆球,沈其荣,孔宏敏,等.水稻旱作条件下土壤水分对红壤磷素的影响[J].水土保持学报,2003,17(2):5-8.
- [9] 何圆球,李成亮,王兴祥,等.土壤水分含量和施磷量对旱作水稻磷素吸收的影响[J].土壤学报,2005,42(4):628-634.
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000,50-52,81-83,108-108,265-271.
- [11] 刘法贵,张愿章,李湘露.灰色数学及其应用[M].开封:河南大学出版社,2003:25-27.
- [12] Mengel K, Kirby F A. Principles of plants nutrition [M]. Bern, Switzerland: Internation Potash Institute. 1987: 25 - 112.
- [13] 石英,沈其荣,茆泽圣,等.旱作水稻根际土壤铵态氮和硝态氮的时空变异[J].中国农业科学,2002,35(5):520-524.
- [14] Kronzucker H J, Class A D M, Siddiqi M Y, et al. Comparative kinetic analysis of ammonium and nitrate acquisition by tropical lowland rice: implications for rice cultivation and yield potential [J]. New Phytol, 2000, 145: 471 - 476.
- [15] 李生秀,李世清.不同水肥处理对旱地土壤速效氮、磷养分的
影响[J].干旱地区农业研究,1995,13(1):6-13.
- [16] 谷秋荣,杨占平,王秋杰,等.不同灌水量对土壤氮磷钾养分移动的影响[J].干旱地区农业研究,2002,20(4):30-33.
- [17] Menel, Braunschweig Von L C. The effect of soil moisture upon the availability of potassium and its influence on the growth young maize plants (Zea mays L) [J]. Soil Sci. 1972, 114: 142-148.
- [18] 李永孝,崔如,丁发武,等.夏大豆植株氮,磷,钾含量与水肥的关系[J].作物学报,1992,18(6):463-474.
- [19] 王朝辉,李生秀.不同生育期缺水 and 补充灌水对冬小麦氮磷钾吸收及分配影响[J].植物营养与肥料学报,2002,8(3):265-270.
- [20] Strong W M, Barry G. The availability of soil and fertilizer phosphorus to wheat and rape at differend water rigimes [J]. Aust J Soil Res. 1980, 18: 353-362.
- [21] 尹金来,周春霖,沈其荣,等.水稻水作与旱作条件下土壤和植物磷素有效性的研究[J].南京农业大学学报,2002,25(4):53-56.

Effects of moisture on content of major nutrients in soil and upland rice plants

ZHAO Quan-zhi, GAO Tong-mei, YIN Chun-yuan, NING Hui-feng, LU Qiang

(Key Laboratory of Crop Growth and Development Regulation of Henan Province, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The experiment was carried out with pond culture under rain-proof shelter condition to investigate the release of mineral elements in soil and the absorption of mineral elements by upland rice plants. The results indicated that soil moisture influenced remarkably N, P and K content in soil and nutrients absorption by plants. With the increase of soil moisture, the NO_3^- -N content in soil was markedly decreased and the NH_4^+ -N content was increased; The content of P changed with low-high-high curve under low soil moisture, and with high-low-high curve under high soil moisture; The content of K in the early tillering stage changed with low-high tendency under different soil moisture treatments, and its content in 65% and 100% treatments was higher than others during the mid and late tillering stage. As for the nutrients absorption by plants, the N content in upland rice was decreased continuously under 100% soil moisture, the P content assumed the "U" curve under 65% and 75% treatments, while the N, P and K content in upland rice assumed the "W" curve under other moisture treatments. With the increase of soil moisture, the total absorption quantity of N, P and K in upland rice was all added.

Key words: soil moisture; upland rice; nutrients content