

水钾耦合对水稻根际土壤钾空间分布及根系生长的影响

赵志成^{1,2}, 王为木^{2,3*}, 郭相平^{2,3}

(1. 云南省交通规划设计研究院, 昆明 650041; 2. 河海大学 水利水电学院, 南京 210098;
3. 南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 南京 210098)

摘要:【目的】探究水钾耦合对水稻根际土壤钾空间分布及根系生长的影响。【方法】以水稻武运粳30为供试作物进行盆栽试验, 设置3个水分水平(70% θ_r ~80% θ_r 、80% θ_r ~90% θ_r 、100% θ_r , θ_r 为饱和含水率), 3个钾素水平(混施钾素0、100、200 mg/kg), 采用完全随机试验设计, 测定了水稻苗期(6叶期)根系生理学指标(物质的量、根冠比)和不同土层根际含钾量。【结果】根际土壤中的水溶性钾总量与钾素水平成正比, 水溶性钾量在垂直根系方向上呈降低趋势; 各层含交换性钾总量与水分水平成正比, 交换性钾量在垂直方向上总体呈增加趋势; 根际土壤中各层缓效性钾的总量与供钾水平成正比; 缓效性钾量在垂直方向上呈降低趋势; 施钾能够抑制水稻苗期地上部的生长, 轻度水分胁迫有助于水稻苗期根系的生长, 而轻度水分胁迫下施钾有助于增大水稻苗期的根冠比; 水分对苗期水稻根系干物质的积累有影响, 而钾素则影响水稻苗期地上部干物质质量的积累。【结论】水钾耦合效应首先是从影响根际土壤中养分的转化开始, 当钾素营养被水稻根系吸收利用后, 钾素开始由土壤中迁移到根系中, 从而对植株及根系生长产生影响。

关键词: 水稻; 水钾耦合; 根际土壤; 空间分布; 钾素形态

中图分类号: S511

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2017.0228

赵志成, 王为木, 郭相平. 水钾耦合对水稻根际土壤钾空间分布及根系生长的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(7): 28-34.

0 引言

钾是淀粉、纤维素的合成和体内运输时必需的营养, 水稻对钾素的需求较大, 在亚洲, 缺钾已成为限制水稻产量和品质的主要限制因子^[1]。在我国南方, 近90%的水稻土处于钾亏缺状态^[2], 而随着水稻单产的提高及氮磷肥用量的增加, 土壤缺钾状况将会日益严重^[3]。

水稻的生长受土壤中养分和水分供应的影响, 而养分和水分之间又存在耦合效应。水肥耦合可以提高水肥利用效率, 减少因不合理灌溉和施肥造成的水土污染, 有利于生态环境良性循环^[4]。水分胁迫对水稻根系吸收总面积、活跃吸收面积和根系活力有显著影响, 使水稻根系的吸收面积减少, 从而降低其对营养物质的吸收能力^[5]。当土壤含水率较高时, 作物蒸腾作用增强^[6], 有利于植物对水分的吸收利用, 从而将有利于植物对矿质营养的吸收^[7]。钾是液泡中主要渗透溶质, 钾素的存在使液泡能够保持较高的含水率, 这是植物渗透调节的抗旱性机理^[8]。许多学者针对水钾耦合对水稻根系生理和钾营养的影响做了大量研究。研究表明, 土壤供钾潜力、钾肥种类和水稻品种的吸钾特性均影响根系的生长, 施钾能增加细根量, 提高根系再生能力, 影响营养元素的吸收及其在地上和地下部之间的分配^[9]; 水稻苗期对钾素利用效率与其根冠比显著正相关^[10]; 平衡施肥显著提高根系对氮磷钾的吸收能力^[11]; 水稻对低钾胁迫的适应性与其根系对钾离子的亲和力、生长介质中临界钾离子质量浓度有关^[12]; 水分胁迫通过对不同生长阶段根、茎、叶等器官生长发育的影响和降低有效分蘖而最终影响水稻产量^[13]; 拔节孕穗期和抽穗花期是水稻生育过程中的最关键需水期, 控制灌溉下水稻水分利用效率高、产量高^[14]; 水培条件下营养液钾素质量浓度、水稻根长和根系钾素吸收常数是钾

收稿日期: 2017-04-13

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0201507); 江苏省水利科技项目

作者简介: 赵志成(1991-), 男(白族)。硕士研究生, 研究方向为节水灌溉与农业水土环境保护。E-mail: hhuzzc@163.com

通信作者: 王为木(1972-), 男。副教授, 博士, 主要研究方向为农业生物环境工程。E-mail: wangwm@hhu.edu.cn

素吸收的主要限制因子^[15];水稻低钾胁迫显著降低水稻的稻谷产量和各生育期地上部钾积累量,显著提高水稻的钾利用效率^[16]。

国内外关于水肥对水稻根系生理和钾营养的水肥交互效应研究,主要集中钾肥种类、施肥方法、水稻耐钾性、低钾胁迫和水分胁迫等因素,在水稻水钾交互对根际土壤空间分布特征和根系微形态的影响研究鲜见。为此,主要研究根际土壤溶质纵向迁移转化的特征,以期为提出水稻苗期水肥优化管理模式提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

以常规稻武运粳30为供试作物进行盆栽土培试验,供试土壤自然风干过60目筛。设3个施钾水平:0 mg/kg(K1,低钾)、100 mg/kg(K2,中钾)、200 mg/kg(K3,高钾),以KCl为供试钾源。基肥为尿素、磷酸二氢钙,施量分别为200、100 mg/kg。供试土壤先混施氮磷基肥,再按不同水平混施钾肥,然后装填入土培装置进行淹水预培养至土壤pH值和电导率(EC)稳定(时长约14 d)。将催芽、露白的水稻种子在干细沙中培养至3叶期,移栽入土培装置,10 d淹水适应培养,间苗,每个装置保留4穴长势均匀的稻苗,进行分组控水管理:70% θ_r ~80% θ_r (W1,低水)、80% θ_r ~90% θ_r (W2,中水)、 θ_r (W3,高水), θ 为土壤饱和含水率,采用称质量法控制水分。采用完全随机试验设计,共9个处理,分别为W1K1、W1K2、W1K3、W2K1、W2K2、W2K3、W3K1、W3K2、W3K3,3次重复。培养至6叶期,将土柱取出,用水洗净根系表面的泥土得到完整的根系,自封袋密封低温保存,及时测定根系生理指标和不同根际土层各形态钾量。

1.2 试验地点与材料

试验于2015年4—8月在河海大学水利馆盆栽试验场进行。该试验区位于江苏省南京市鼓楼区,属于亚热带湿润气候,试验期间日均最低气温为11℃,日均最高气温32℃。

供试土壤取自河海大学江宁校区节水园区的水稻土耕作层,0~30 cm土壤肥力均匀,黏壤质土壤,饱和含水率为38.2%(质量含水率)。土壤体积质量为1.46 g/cm³,田间持水率为25.28%(质量),总孔隙度为44.97%,pH值为6.97,土壤有机质质量分数为2.40%,全氮量为0.90 g/kg,速效氮量为27.65 mg/kg,全磷量为0.32 g/kg,速效磷量为12.50 mg/kg。试验用特制水稻培养装置进行,主体选用硬质PVC管制作,管内径66 mm,管壁厚7 mm。整个装置可分为上下2部分,上部环高50 mm,种植水稻;下部环高30 mm,用于取根际土。环的横切面平整光滑。2个环中间以孔径24 μ m,厚30 μ m的尼龙网隔开。下部环底部为有孔硬质PVC垫板。采用特制的培养装置进行试验,装置主体为透明有机玻璃管,管内径66 mm,管壁厚7 mm,高11.4 cm。

1.3 测定项目和方法

pH值采用精度pH计测定,型号为PHS-3CT(8601);EC采用精密电导率仪(DDP-210)测定。

在水稻六叶期,将植株分为茎叶和根系2部分,用蒸馏水冲洗根系,然后将2部分于105℃下杀青30 min,70℃烘干至恒质量后用天平(0.01 g)称取茎叶干质量和根系干质量,同时计算根冠比。

将植株用H₂SO₄-H₂O₂消煮,采用火焰光度计法测定水稻植株含钾量。利用螺旋测微仪改装的分层取样装置,依次取距根表0.5、1、1.5、2、3、4 mm的6个土层,分别测出水溶态钾、交换态钾、缓效态钾质量分数。

用Excel2010进行数据处理,应用SPSS19.0程序中通用线性模型单因素变量法进行方差分析,Duncan's法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同水钾条件下水稻根际土壤中不同形态钾的垂直分布

2.1.1 水溶性钾质量分数的垂直分布

根际土壤中各层水溶性钾总质量分数垂直分布如图1所示。从图1可看出,在水分状况为W1、W2水平时,随着钾素水平的提高,根际土壤中水溶性钾的总质量分数呈不断增加的趋势。当水分状况为W3水平时,随着钾素水平的提高,根际土壤中水溶性钾的总质量分数反而呈降低的趋势。说明当土壤含水率低于饱和含水率时,随着钾素水平的提高,根际土壤中的水溶钾总质量分数呈不断增加的趋势;但是,当土壤含

水率达到饱和时,反而呈降低趋势,这与水溶钾是存在于水溶液中的钾离子这一性质相关。

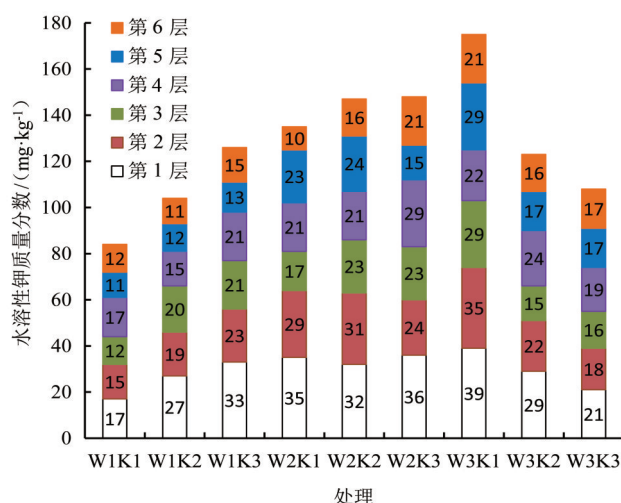


图1 根际土壤中各土层水溶性钾总量空间分布

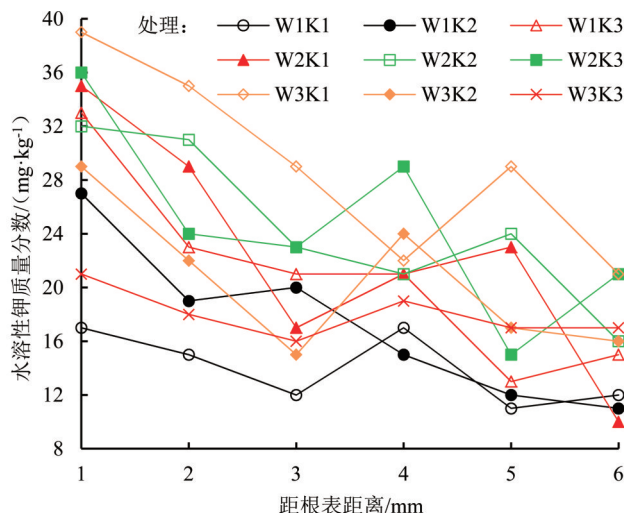


图2 根际土壤各土层水溶性钾量分布

根际土壤各土层水溶性钾质量分数的分布趋势如图2所示。从图2可看出,各层水溶性钾的质量分数在垂直根系方向上由近及远总体均呈现出逐渐降低的趋势。这主要与根系分泌物中含有的钾离子有关,同时根系分泌出的有机酸可活化土壤产生出可溶性钾离子。每个处理中,第1层土壤的水溶性钾质量分数都是最高的,而且明显高于其他土层;同时第1层到第2层间的折线过渡特别陡。说明根际土壤每层水溶性钾质量分数分布在距根际由近及远的方向上呈增加趋势,这主要与根系分泌物和水溶性钾自身性质有关。

2.1.2 交换性钾质量分数的垂直分布

根际土壤中各层交换性钾总质量分数的分布如图3所示。从图3可看出,当钾素水平为 K_1 时,随着水分的增加,土壤中交换性钾总质量分数呈增加趋势;当钾素水平为 K_2 时,随着水分的增加,土壤中交换性钾总质量分数呈先增加后降低的趋势;当钾素水平为 K_3 时,随着水分的增加,土壤中交换性钾总质量分数呈先降低后增加的趋势。当钾素水平较低时,随着水分的增加,根际土壤中各层交换性钾总质量分数总体呈增加趋势。因为水溶钾和交换性钾之间可以相互转化,因此随着土壤水分的增加,土壤中的水溶性钾质量分数不断增加。而随着土壤水溶液中的水溶性钾量不断增加,将会有更多的水溶性钾离子转化为交换性钾离子,增加交换性钾离子。

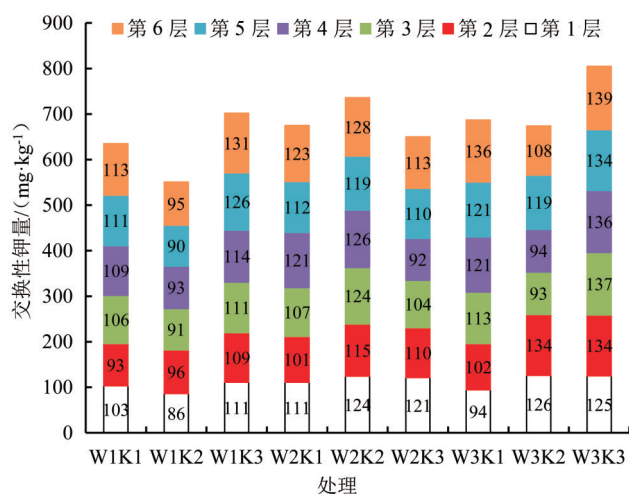


图3 根际土壤中各层交换性钾量

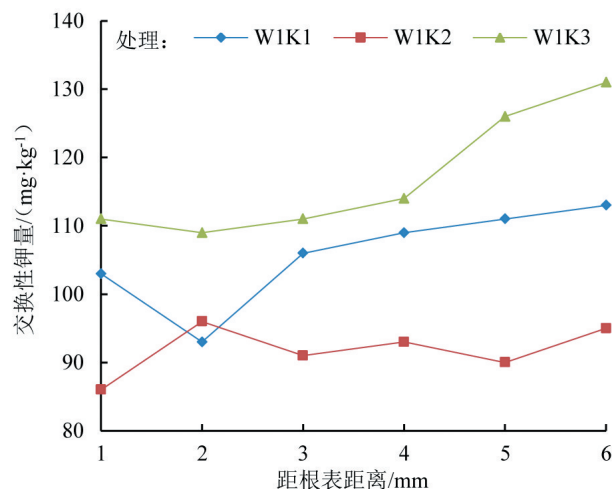


图4 W1处理下根际土壤交换性钾垂直分布特征

W1水分水平下根际土壤每层交换性钾质量分数垂直分布如图4所示,各处理根际土壤每层交换性钾质量分数在垂直根系方向上由近及远呈不断增高的趋势。由图5可见,W2水分水平下,在钾素水平为 K_1 、 K_2 时,根际土壤每层交换性钾质量分数在垂直根系方向上分布趋势线稍有波动。在钾素水平为 K_3 时,根际土壤每层交换性钾质量分数在垂直根系向下的方向上呈先增高后降低的趋势。W3水分水平下根际土壤每层

交换性钾质量分数空间分布如图6所示,在钾素水平为K1、K3时,根际土壤每层交换性钾质量分数在垂直根系方向上由近及远呈不断增高的趋势;在钾素水平为K2时,根际土壤每层交换性钾质量分数的分布趋势线较为曲折,上下二端的交换性钾质量分数较高,而中间的交换性钾质量分数较低。总体而言,在垂直根系由近及远方向上,根际土壤每层交换性钾质量分数总体呈增加趋势,这与水溶钾的分布趋势相反。

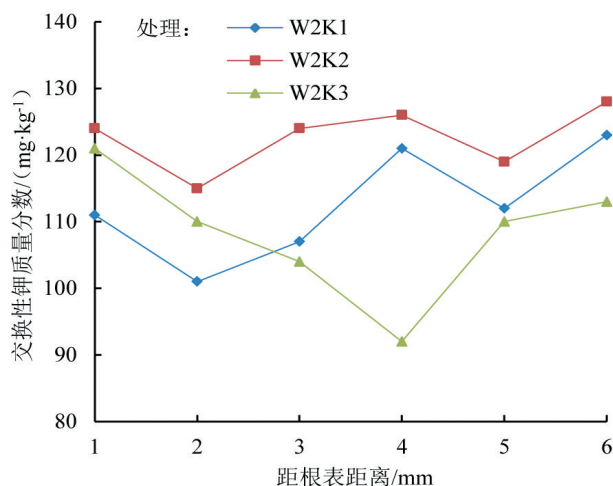


图5 W2处理下根际土壤交换性钾量垂直分布特征

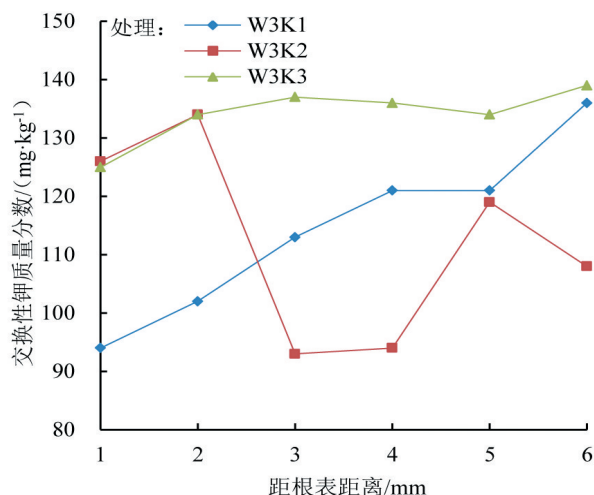


图6 W3处理下根际土壤交换性钾量垂直分布特征

2.1.3 缓效性钾总量的垂直分布

根际土壤中各层缓效性钾总质量分数的垂直分布如图7所示。由图7可知,当水分为W1、W2时,随着钾素水平的提高,根际土壤中各层缓效性钾的总质量分数呈先增加后降低的变化;当水分为W3时,随着钾素水平的提高,根际土壤中各层缓效性钾的总质量分数呈先降低后增高的趋势。总体上,当水分水平一定时,随着钾素水平的提高,根际土壤中各层缓效性钾的总质量分数呈增大的趋势。

可见,当水分水平一定时,随着钾素水平的提高,根际土壤中各层水溶性钾和交换性钾的质量分数总体都呈上升趋势。缓效性钾总量与钾肥施用量成正比的这种特性是由3种形态钾的动态转化关系决定的,同时也与水溶性钾的水溶性和缓效性钾的“转化中间站”特性有关。

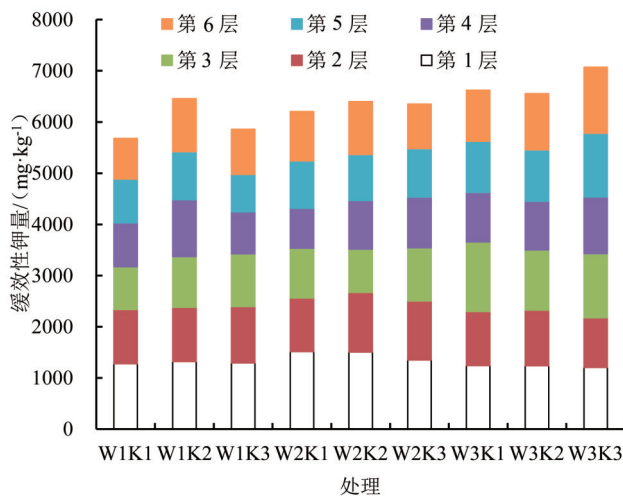


图7 根际土壤中各层缓效性钾量垂直分布特征

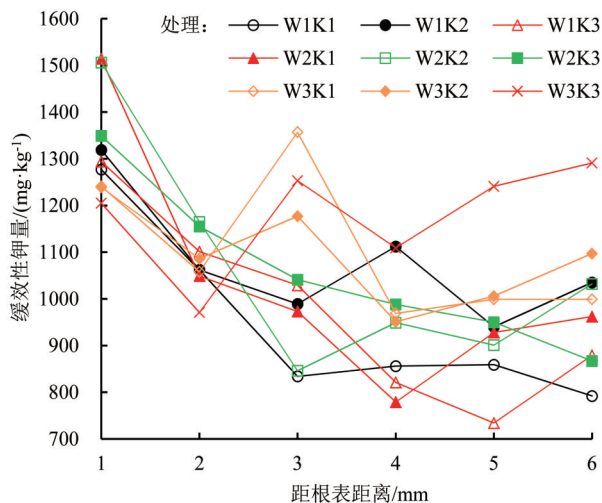


图8 根际土壤每层缓效性钾量垂直分布特征

根际土壤每层缓效性钾质量分数垂直分布如图8所示。由图8可知,所有处理中,各层缓效性钾的质量分数在垂直根系由近及远的空间分布上总体呈现逐渐降低的趋势。特别是每组处理的第1层的缓效性钾质量分数都是所有土层中最高的,而且第1层到第2层间的缓效性钾质量分数都呈下跌式降低的趋势,然后在接下来的第2、3、4、5、6层则呈不同程度的波动下降趋势。可见,缓效性钾的垂直分布特征与水溶性钾的垂直分布特征相似,而与交换性钾的垂直分布特征相反。

2.2 不同水钾条件下对水稻生长的影响分析

表1为不同水钾耦合处理下水稻苗期地上部干质量、地下部干质量和根冠比的试验结果。从表1可看出,9个处理水稻苗期地上部株均干物质量在0.19~0.31 g之间,W1K1、W2K1、W2K2、W3K1处理较高,该4个处理涵盖了3个水分水平,但钾素水平主要为K1(不施钾),其中W2K2处理为K2,其指标数值相对略低;相同水分处理不同施肥水平的地上部干物质量的大小顺序为:K1>K2>K3,且差异显著($P<0.05$),说明本试验中施钾能够抑制水稻苗期地上部的生长。株均根系干物质量在0.062~0.123 g之间,W2K1、W2K2、W2K3处理较高,均属于W2,涵盖了3个钾素水平,低水分(W1)和高水分(W3)处理组相对较低,组间均值W2>W1>W3,差异显著($P<0.05$),说明本试验中轻度水分胁迫有助于水稻苗期根系的生长。9个处理根冠比介于0.182~0.561之间,W2K2和W2K3处理较高,表明轻度水分胁迫下施钾有助于增大水稻苗期的根冠比。

表1 不同水钾处理下水稻生长与营养指标

处理	植株干质量/(g·株 ⁻¹)	根系干质量/(g·株 ⁻¹)	根冠比/%	根系钾积累量/%	植株钾积累量/%
W1K1	0.29±0.027ab	0.073±0.034d	0.255±0.048bc	0.289±0.164a	0.073±0.034d
W1K2	0.23±0.024cd	0.079±0.012cd	0.345±0.087bc	0.240±0.038b	0.079±0.012cd
W1K3	0.24±0.037bcd	0.083±0.077bcd	0.346±0.042bc	0.286±0.124a	0.083±0.077bcd
W2K1	0.29±0.024ab	0.114±0.054abc	0.392±0.152b	0.207±0.490b	0.114±0.054abc
W2K2	0.27±0.016abc	0.117±0.016ab	0.430±0.005ab	0.225±0.0208b	0.117±0.016ab
W2K3	0.22±0.022cd	0.123±0.024a	0.561±0.175a	0.305±0.051a	0.123±0.024a
W3K1	0.31±0.031a	0.056±0.057d	0.182±0.010c	0.251±0.060b	0.056±0.057d
W3K2	0.22±0.028cd	0.062±0.073d	0.282±0.066bc	0.285±0.051a	0.062±0.073d
W3K3	0.19±0.030d	0.063±0.025d	0.333±0.090bc	0.243±0.165b	0.063±0.025d
显著性 分析(P)	W	*	*	ns	*
	K	*	*	ns	ns
	W×K	*	*	ns	*

注 数值为“平均值±标准差”,字母a, b, c等表示同一列在 $P=0.05$ 水平差异显著,如不同小写字母表示处理之间差异显著($P<0.05$),相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。*表示 $P<0.05$ 水平差异显著,ns表示在 $P>0.05$ 水平差异不显著。下表同。

2.3 不同水钾条件下的植株钾素积累分析

表1为不同水钾耦合处理下水稻苗期根系钾积累量和植株钾积累量,根系钾积累量表征的是水稻对钾素的吸收量,而水稻钾素高效利用的特征就是较高的植株钾积累量和钾素利用效率。在不同的水分、供钾水平下,水稻在钾素吸收、利用等方面会存在明显的差异性。

从表1可以看出,9个处理的根系钾积累量以W1K1、W1K3、W2K3、W3K2处理较高,该4个处理涵盖了3个水分水平,但钾素水平主要为K3(中钾),说明钾素水平适宜条件下有利于根系钾的积累。3种不同水分条件下的根系钾积累量平均值发现,W1>W3>W2,表明在低水和高水水分状况下,根系钾积累量较高,特别是在根系受到干旱胁迫(重旱)时,根系钾积累量最高,此时水稻对钾素的利用率最高。综合表明,在水分水平较低,钾素水平适中时根系的钾素积累量最高,即低水中钾耦合模式下苗期水稻的根系钾积累量最高。

水分因素和水钾耦合效应显著影响植株钾积累量。在相同水分条件下,随着钾素水平的提高,3个分组的植株钾积累量都呈递增的趋势,表明在同等水分条件下钾素水平的提高有利于苗期水稻植株钾的积累。而在相同钾素水平下钾积累量表现为W2K1处理>W1K1处理>W3K1处理、W2K2处理>W1K2处理>W3K2处理、W2K3处理>W1K3处理>W3K3处理,即植株钾积累量W2>W1>W3,表明在同等钾素水平下,随着土壤水分水平的提高,钾积累量呈先增加后降低的趋势,而且中等水分条件下植株钾积累量最高。综合表明,中水高钾的耦合模式下苗期水稻的植株钾积累量最高。

3 讨论

水稻的生长受到来自土壤中养分和水分供应的影响,而养分和水分之间又存在相互影响、相互制约的耦合效应^[7]。水钾耦合效应首先是从影响根际土壤钾素的转化开始,经过不同水分和钾素水平培育后,使水稻根际不同土层的水溶性钾、交换性钾、缓效性钾的总钾量及每层钾量发生改变;已有研究表明,不同的水

肥耦合对水稻形态及活力有显著影响^[18], 本研究表明当土壤中的钾素营养被吸收利用后将影响到作物根系的生理生化及其对养分的吸收, 特别是不同程度的水分胁迫对根系的生长指标有显著的影响, 这与已有研究^[18]一致; 研究^[19]表明, 根系是摄取、运输和贮存营养物质以及合成一系列有机化合物的营养器官, 本研究表明这些影响作用将最后表现在对地上部生长的影响上, 具体表现为对水稻地上部干物质的量产生影响, 这与人研究^[19]一致。施钾能促进水稻的生长、影响地上和地下部分钾营养^[9], 本研究表明施钾将会抑制水稻苗期地上部的生长, 这与已有研究一致^[9]; 水分胁迫减少水稻干物质累积, 降低根冠比和根系活力^[20], 本研究表明轻度水分胁迫有助于水稻苗期根系的生长、增大水稻苗期的根冠比, 与已有研究成果^[20]不同。这是因为轻度水分胁迫下苗期水稻通过自身调节根系活力而增强根系对水、钾的吸收能力, 以缓解水分亏缺所带来的影响。

但是试验只选取了水稻生长发育较为旺盛的苗期有一定的局限性^[21], 而且在土壤养分研究中仅选取钾素, 未考虑到钾与其他元素的交互作用。在今后的研究中, 可以在不同的生育期, 对氮、磷2种元素对水稻生长发育的影响规律进行深入研究。

4 结 论

1) 水钾耦合效应首先是从影响根际土壤中养分的转化开始。不同水钾条件下水稻根际土壤中3种形态钾的垂直分布呈现一定的规律, 即水溶性钾总质量分数随着钾素水平成正比, 当土壤水分饱和时, 反而呈降低趋势, 而每层水溶性钾质量分数分布在距根际由近及远的方向上呈增加趋势; 当钾素水平较低时, 根际土壤中各层交换性钾总质量分数与水分成正比, 在垂直根系由近及远方向上, 根际土壤每层交换性钾质量分数总体呈增加趋势; 当水分水平一定时, 根际土壤中各层缓效性钾的总质量分数与钾素水平成正比, 各层缓效性钾的质量分数在垂直空间分布上总体呈现逐渐降低的趋势。而这些规律与水溶性钾、交换性钾和缓效性钾这3种形态的钾素之间相互转化的动态关系密切相关, 同时也与这3种形态的自身性质有关, 特别是水溶钾的水溶性特征。

2) 当钾素营养被水稻根系吸收利用后, 钾素开始由土壤中迁移到根系中, 从而对植株及根系生长产生影响。施钾能够抑制水稻苗期地上部的生长, 轻度水分胁迫有助于水稻苗期根系的生长, 而轻度水分胁迫下施钾有助于增大水稻苗期的根冠比。水分对苗期水稻根系干物质的积累有影响, 而钾素则影响水稻苗期地上部干物质质量的积累。

参考文献:

- [1] DOBERMANN A, CASSMAN K G, MAMARILC P, et al. Man-agement of phosphorus, potassium, and sulfur in in-tensive, irrigated lowland rice [J]. Field Crops Research, 1998, 56(1/2): 113-138.
- [2] 刘国栋, 刘更另. 论缓解我国钾源短缺问题的新对策[J]. 中国农业科学, 1995, 10(1): 25-32.
- [3] 王为木, 杨肖娥, 魏幼璋, 等. 水稻不同基因型吸收利用土壤钾素的差异[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2005, 31(1): 55-61.
- [4] 马强, 宇万太, 沈善敏, 等. 旱地农田水肥效应研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 38(3): 665-673.
- [5] 张玉屏, 李金才, 黄义德, 等. 水分胁迫对水稻根系生长和部分生理特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2001, 29(1): 58-59.
- [6] 王喜庆, 李生秀, 高亚军. 土壤水分在提高氮肥肥效中作用机制[J]. 西北农业大学学报, 2007, 25(1): 15-20.
- [7] 李世娟, 周殿玺, 兰林旺. 不同水分和氮肥水平对冬小麦吸收肥料氮的影响[J]. 核农学报, 2002, 16(5): 315-319.
- [8] TURNER C N. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants[M]//Stress physiology in crops plants. New York: John Wiley, 1979: 343-372.
- [9] 陈际型. 钾素营养对水稻根系生长和养分吸收的影响[J]. 土壤学报, 1997, 34(2): 182-188.
- [10] 张宁, 郭荣发. 不同钾效率水稻品种苗期的根系形态与生理指标[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(4): 716-720.
- [11] 李娟, 章明清, 林琼, 等. 水稻根系氮磷钾吸收特性及其模拟模型研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 117-122.
- [12] 王为木. 水稻适应土壤低钾营养胁迫的机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [13] 李亚龙, 崔远来, 李远木. 以土水势为灌溉指标的水稻节水灌溉研究[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(5): 14-16, 49.
- [14] 刘广明, 杨劲松, 姜艳. 节水灌溉条件下水稻需水规律及水分利用效率研究[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(6): 49-52, 55.
- [15] 章明清, 李娟, 孔庆波, 等. 水培条件下水稻根系钾素吸收稳态模型研究[J]. 热带作物学报, 2012, 33(5): 821-828.
- [16] 贾彦博, 杨肖娥, 王为木. 不同供钾水平下水稻钾素吸收利用与产量的基因型差异[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 64-67, 72.
- [17] 徐优, 王学华. 水肥耦合及其对水稻生长与N素利用效率的影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(24): 17-22.
- [18] 杨长明, 杨林章, 欧阳竹. 不同养分与水分管理对水稻植株根系形态及其活力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(4): 82-85.

- [19] 申建波, 毛达如. 植物营养研究方法[M]. 3版. 北京: 中国农业大学出版社, 2011:15-16.
- [20] 郝树荣, 郭相平, 王为木. 水稻分蘖期水分胁迫及复水对根系生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007(1):149-152.
- [21] 赵志成, 王为木, 蔡旺伟, 等. 水钾耦合对水稻苗期根系生理和形态的影响[J]. 江西农业学报, 2016, 28(10):24-27.

The Combined Impact of Water and Potassium on Root Growth and Potassium Distribution in the Rhizosphere of Rice

ZHAO Zhicheng^{1,2}, WANG Weimu^{2,3*}, GUO Xiangping^{2,3}

(1. Broadvision Engineering Consultants, Kunming 650041, China; 2. College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Southern Region Efficient Irrigation and Drainage Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Environment, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: **【Objective】** Water and nutrient distributions in soil modulate root growth, and the purpose of this paper is to investigate the combined impact of water and potassium on root growth and potassium distribution in the rhizosphere of rice. **【Method】** Pot experiments were carried out with the variety of Wuyun japonica rice as the model plant. We examined three soil saturations: $70\%\theta_r \sim 80\%\theta_r$, $80\%\theta_r \sim 90\%\theta_r$ and $100\%\theta_r$, and three potassium levels: 0, 100 mg and 200 mg per pot. When the rice seedling was at the six-leaf stage, we measured the amount of dry matter, root-shoot ratio, root activity, as well as the potassium content in the rhizosphere. **【Result】** Soluble potassium content in the rhizosphere was proportional to total potassium content and decreased with soil depth. Along the soil profile, the slow-K content was proportional to the applied potassium and decreased with soil depth. Potassium application impeded the accumulation of above-ground biomass at early growing stage, while a slight water stress enhanced root growth and the root-shoot ratio. The experimental results revealed that soil moisture modulated root growth while potassium impacted mainly on shoot growth. **【Conclusions】** The onset of water and potassium is the root and they are then extended to the shoot and canopy.

Key words: rice; water and potassium coupling; rhizosphere; potassium states; spatial distribution

责任编辑: 刘春成