

乔 帅,王梦姣,邓百万,等. 轮作区水稻根际土壤钙镁离子含量、含水量和酸碱度变化趋势[J]. 江苏农业科学,2017,45(5):284-288.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.05.074

# 轮作区水稻根际土壤钙镁离子含量、含水量和酸碱度变化趋势

乔 帅<sup>1</sup>,王梦姣<sup>1,2,3</sup>,邓百万<sup>1,2</sup>,陈小华<sup>1,3</sup>,彭 浩<sup>1,2</sup>,罗壮志<sup>1</sup>,张选明<sup>4</sup>

(1. 陕西理工大学生物科学与工程学院,陕西汉中 723000; 2. 陕西理工大学陕西省食用菌工程技术研究中心,陕西汉中 723000; 3. 陕西理工大学陕西省资源生物重点实验室,陕西汉中 723000; 4. 陕西省水稻研究所/汉中市农业科学研究所,陕西汉中 723000)

**摘要:**为保证水稻品质并避免过度使用钙、镁肥对土壤胶体造成的破坏,利用电感耦合等离子体发射光谱法对陕南水稻—油菜轮作区的不同水稻品系在其不同生长时期的根际土壤中钙、镁含量进行分析。通过研究发现,在轮作区4个采样地(安康市及汉中的城固县、汉台区、宁强县)不同品种水稻根际土壤钙元素含量都随水稻生长发育过程的进行而逐渐升高(含量范围分别为1 303.5~5 040.5、2 541.1~6 517.3、2 600.0~4 194.7、1 664.0~5 265.8 mg/kg),而镁元素含量随着水稻生长发育过程的进行先升高后降低(含量范围分别为6 101.3~30 021.3、10 382.7~13 738.4、9 956.3~10 490.1、8 583.5~10 140.0 mg/kg)。经分析发现,这些地区的根际土壤中所含的钙、镁元素含量均能满足水稻生长发育需求,不用另外施加肥料。土壤含水量随水稻生长过程逐渐增加,增幅甚至超过50%[安康K优082孕穗期土壤含水量(63.08±2.69)%,城固K优082孕穗期土壤含水量(54.18±2.11)%],符合水稻生长特点。土壤酸碱碱性测定结果表明,安康地区土壤偏弱酸性(pH值5.5~6.5),城固、汉台地区土壤偏中性(pH值6.5~7.5),宁强地区土壤酸碱碱性跨度较大(pH值5.5~7.5),但均适合水稻生长。

**关键词:**水稻根际土壤;钙离子;镁离子;土壤流失;土壤含水量;土壤酸碱度;土壤胶体

**中图分类号:** S153.6<sup>+</sup>1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)05-0284-05

钙、镁离子均对水稻的生长发育具有重要作用,其中的钙元素是水稻必需的营养元素,能够稳定植物细胞膜、细胞壁,调节植物体内阴阳离子平衡<sup>[1-2]</sup>,水稻缺钙会导致水稻根系生长差,茎和根尖的分生组织受损,根尖细胞腐烂、死亡等<sup>[3-4]</sup>。研究植物的镁离子螯合酶的催化动力学及其作用机制,对于阐明叶绿素代谢途径的调控、叶绿体与细胞核反向信号及叶绿体脱落酸(ABA)信号途径具有重要意义<sup>[5]</sup>。水稻

一旦发生缺镁的状况,其叶尖、叶缘出现色泽褪淡变黄,叶片下垂,穗枝梗基部不实粒增加,导致减产<sup>[3-4]</sup>。因此,对作物适当施以钙、镁肥能够帮助作物良好生长,达到高质高产的目的<sup>[6]</sup>。

作物能够直接吸收利用的钙元素主要来源于土壤胶体表面的吸附钙<sup>[7]</sup>;同时,作为作物利用的主要有效镁,代换态镁(能够被一般代换剂代换出来的镁元素)一般吸附在土壤胶体表面<sup>[8]</sup>。而作为植物能够利用的钙、镁元素主要存在介质土壤胶体,具有保持土壤黏度结构、含蓄水分、保持土壤肥力等特点,在水土保持过程中起重要作用。人为改变土壤含水量、土壤酸碱碱性会直接影响土壤胶体表面能及胶体带电性,使土壤胶体固有的凝集作用发生变化,导致土壤结构剧烈变化,较原始土壤更易出现水土流失现象。由于钙肥的主要成分是石灰,镁肥的主要成分是磷酸镁铵,因此过度使用钙、镁肥,会破坏土壤胶体与土壤溶液及作物间的钙、镁平衡,改变土壤含水量、酸碱度等,直接影响土壤胶体表面能及胶体带电性,使土壤胶体固有的凝集作用发生变化,导致土壤结构剧烈变化,较原始土壤更易出现水土流失现象。

收稿日期:2016-08-22

基金项目:陕西省教育厅重点科学研究计划(编号:15JS021);陕西理工大学人才启动项目(编号:SLGKYQD2-19);陕西理工大学研究生创新基金(编号:SLGYCX1618);陕西省大学生创新创业训练计划(编号:UIRP15021)。

作者简介:乔 帅(1992—),女,山西临汾人,硕士研究生,主要从事植物、微生物与土壤相互关系研究。E-mail: 1094220244@qq.com。

通信作者:王梦姣,博士,讲师,主要从事植物、微生物与土壤相互关系研究。E-mail: amy133253@126.com。

[4]北京造纸研究所. 造纸工业化学分析[M]. 北京:中国轻工业出版社,1979:44-59.

[5]杜甫佑,张晓昱,王宏勋. 木质纤维素的定量测定及降解规律的初步研究[J]. 生物技术,2004,14(5):46-48.

[6]林 姐,彭 红,余紫苹,等. 半纤维素分离纯化研究进展[J]. 中国造纸,2011,30(1):60-64.

[7]波钦诺克,荆家海. 植物生物化学分析方法[M]. 北京:科学出版社,1981:173-177.

[8]Sluiter A, Hames B, Ruiz R, et al. NREL laboratory analytical procedure/determination of structural carbohydrates and lignin in biomass [R]. NREL,2012.

[9]van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. Methods for dietary fiber neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal production[J]. J Dairy Sci,1991,74:3583.

[10]王玉万,徐文玉. 木质纤维素固体基质发酵物中半纤维素、纤维素和木质素的定量测定分析程序[J]. 微生物学通报,1987(2):82-84.

陕西省南部地区是陕西省水稻的主产区,也是我国重要的水稻主产区<sup>[9]</sup>,该地区属于长江上游水系,结合国家河水硬度分布及地方水质硬度调查结果<sup>[10-14]</sup>可以发现,该地区属于国家水稻主产区中水质较硬的地区。这就是说,该地区水稻土中可能含有较高浓度的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子。同时,该地区的水稻种植方式属于油菜—水稻轮作制耕种,这种种植方式下土壤胶体结构与典型单季稻或双季稻地区有明显区别。轮作,即在同一块田地上,有顺序地在季节间或年间轮换种植不同作物或采用复种组合的一种种植方式,具有用地、养地的特点,能够减少病虫害,改善土壤胶体结构,提高土壤肥力等。轮作制耕种能够显著降低通过土壤侵染作物的病虫害(如烟草的黑胥病、蚕豆根腐病、甜菜褐斑病、西瓜蔓割病等),如将感病的寄主作物与非寄主作物实行轮作,便可消灭或减少这种病菌在土壤中的数量,减轻病害。对于为害作物根部的线虫,轮种不感虫的作物后,可减少它们在土壤中的虫卵数量,减轻危害。陈丹梅等在研究土壤理化生物学性质时发现,种植模式与作物土传真菌病害的发生密切相关,轮作种植能显著降低作物感染病虫害的概率<sup>[15]</sup>。此外,轮作种植方式还能使植物均衡利用土壤养分、调节土壤肥力,由于不同作物从土壤中吸收的养分数量和比例不同,不同作物轮换种植,可保证土壤养分的均衡利用,避免其片面消耗。

因此,本研究用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP optical emission,简称 ICP-OES),以陕南轮作制水稻主产区(安康、汉中地区)的 2 个不同水稻品种(K 优 082、先丰优 901)为材料,在其不同生长时期(五叶期、分蘖期、孕穗期)对根际土壤中钙、镁含量进行分析,结合土壤含水量、酸碱性数据,探讨根际土壤钙、镁含量变化趋势,以期为该地区合理施用钙肥、镁肥提供基础试验支持,同时,还能达到避免因过度使用钙、镁肥而使土壤产生不必要的水土流失现象。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样地概况及水稻品质参数

本试验在陕西南部地区水稻主要种植区安康市及汉中的城固县、汉台区、宁强县<sup>[16]</sup>进行,这些采样地区都采取水稻—油菜轮作方式,前茬作物为油菜,试验实施前有记录的轮作初始年份为 2005 年。这 4 个采样地气候情况分别为亚热带大陆性季风气候、北亚热带湿润季风区、北亚热带湿润季风区和暖温带山地湿润季风气候,年平均温度分别为 15.2、14.3、14.2、13.0℃,年均降水主要都集中在 9 月,经度分别为 109°01'E、107°13'E、106°81'E、105°60'E,纬度分别为 32°42'N、32°75'N、33°12'N、32°55'N,海拔分别为 260、480、520、820 m,土质均为潴育性水稻土,灌溉水源类型分别为河水、河水、井水、泉水。土地使用的肥料均为尿素、复合肥(氮:磷:钾=15%:15%:15%),分别在插秧前(水稻移栽前)、水稻分蘖前期施肥,用量为 300 kg/hm<sup>2</sup>。

K 优 082 为平原地区主栽水稻品种<sup>[17]</sup>,在安康、城固、汉台、宁强 4 个地区的株高分别是 115.6、115.6、115.6、110.6 cm,穗数分别为 17.3、16.7、18.3、16.9 穗/株,粒数分别为 180.8、160.6、172.2、161.4 粒/穗,结实率分别为 84.3%、85.8%、86.2%、82.6%,农作方式均为单季稻。先丰优 901 为山区地区主栽水稻品种<sup>[17]</sup>,在安康、城固、汉台、宁

强 4 个地区的株高分别是 118.3、111.2、117.5、112.4 cm,穗数分别为 18.1、17.4、16.8、16.2 穗/株,粒数分别为 182.5、170.0、182.4、169.1 粒/穗,结实率分别为 86.9%、84.7%、82.3%、80.7%,农作方式均为单季稻—油菜轮作。

### 1.2 试验方法

1.2.1 样品采集 本试验前茬作物为油菜,试验采集土样时间为 2015 年 4 月至 8 月,具体采样时间:安康地区,4 月 1 日播种,5 月 13 日插秧,5 月 25 日收集 5 叶期土壤样品,7 月 2 日收集分蘖期土壤样品,7 月 24 日收集孕穗期土壤样品;城固地区,4 月 10 日播种,5 月 29 日插秧,6 月 5 日收集 5 叶期土壤样品,7 月 7 日收集分蘖期土壤样品,7 月 26 日收集孕穗期土壤样品;汉台地区,4 月 13 日播种,5 月 26 日插秧,6 月 3 日收集 5 叶期土壤样品,7 月 6 日收集分蘖期土壤样品,7 月 23 日收集孕穗期土壤样品;宁强地区,4 月 17 日播种,5 月 27 日插秧,6 月 7 日收集 5 叶期土壤样品,7 月 9 日收集分蘖期土壤样品,7 月 25 日收集孕穗期土壤样品。

采用 5 点采样法进行土壤样品采集,将水稻根系从土壤挖出,用抖落法<sup>[18]</sup>抖掉与根系松散结合的土体,然后将土壤连带植物组织包裹带回实验室后进行充分混匀。将同一块试验田的没有种植水稻的土壤部分,取 5~20 cm 土壤,去除表面植被、沙石等,带回实验室后过 2 mm 筛,充分混匀后作为对照土壤进行试验。

1.2.2 土壤含水量 待每次土壤样品采集并充分混匀后,称取 10 g 土壤,记下准确的质量(g),于 105℃烘干直至恒质量(2 次称质量相差不大于 3 mg),冷却并称质量,记录每个样品的质量(g),设置 3 个重复,并计算标准差。土壤的含水量计算公式:

$$\text{含水量} = (\text{湿土质量} - \text{干土质量}) / \text{湿土质量} \times 100\%$$

1.2.3 土壤 pH 值测定方法 称取过 20 目筛的风干土壤 10 g,置于 100 mL 烧杯中;用容量瓶量取 50 mL 蒸馏水,加入烧杯中(土:水=1:5)后用玻璃棒搅拌约 1 min,静置 0.5 h 左右,澄清;插入 pH 计(上海精科 PHS-3C)的电极球至悬液面下,待 pH 计读数稳定后,记录 pH 值。测定 5 个样品后,用 pH 值标准溶液校正 1 次。

1.2.4 电感耦合等离子体发射光谱法测定土壤中钙镁离子含量

1.2.4.1 仪器与试剂 主要仪器为电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)PE Optima8000,万分之一天平,烘箱等;主要试剂为硝酸、高氯酸、氢氟酸、超纯水等。

1.2.4.2 样品消解(湿法消解) 准确称取 0.250 0~0.250 9 g 土至坩埚中,加入 10 mL 混酸(硝酸:高氯酸=9:1),静置过夜后加热消化,同时加入氢氟酸至溶液呈无色透明或略带黄色且残留量不超过 1 mL,冷却并定容至 26 mL,混匀待测,设置 3 个重复。

1.2.4.3 标准曲线绘制 准确吸取 5.00 mL 钙、镁单元素标准溶液(100 mg/L)置于 50 mL 容量瓶中,用 2% 硝酸溶液稀释至刻度,混匀,配制成混合标准使用液。此溶液 1 mL 相当于 0.01 mg 钙、镁,将该混合标准使用液逐级稀释成不同浓度系列的标准溶液(稀释后浓度分别为 0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、1、2、10 mg/L),待测。

1.2.4.4 样品数据处理 设定好仪器参数后,对每个样品的

3 个重复均进行测定后求取平均值,用柱状图进行比较,柱状图上的误差线反映的是 3 个重复的标准误差,并用星号(\*)表示显著性(“\*”表示差异显著, $P < 0.05$ ;“\*\*”表示差异极显著, $P < 0.01$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 钙离子变化趋势分析

由图 1 可见,安康、城固、汉台、宁强 4 个地区水稻根际土壤钙含量范围分别为 1 303.5 ~ 5 040.5、2 541.1 ~ 6 517.3、2 600.0 ~ 4 194.7、1 664.0 ~ 5 265.8 mg/kg。通过分析发现,与 5 叶期相比,安康、宁强采样地的 K 优 082、先丰优 901 这 2 个水稻品种的根际土壤钙元素含量随水稻生长发育显著升高,分蘖期、孕穗期钙元素含量都极显著增加(图 1-A、图 1-D)。与 5 叶期相比,城固采样地 2 个水稻品种的根际

土壤钙元素含量随水稻生长发育逐渐升高,K 优 082 根际土壤分蘖期钙元素含量增加不明显,孕穗期钙元素含量极显著增加;先丰优 901 根际土壤分蘖期钙元素含量显著增加,孕穗期含量呈极显著增加(图 1-B)。与 5 叶期相比,汉台采样地 2 个水稻品种的根际土壤钙元素含量随水稻生长发育显著升高,K 优 082 根际土壤分蘖期钙元素含量显著增加,孕穗期含量极显著增加;先丰优 901 根际土壤分蘖期、孕穗期的含量都极显著增加(图 1-C)。

可以看出,这 4 个采样点的 2 个品种水稻根际土壤的钙元素含量都随着水稻生长发育过程逐渐增加,这有可能是由于水稻在苗龄为 20 ~ 25 d 时会被移植到周围有堤的水深为 5 ~ 10 cm 的稻田内,在生长季节一直浸在水中,而陕南水稻种植区水质较硬,水中含有的钙元素含量较高,长时间累积会导致水稻根际土壤中钙元素含量的升高。

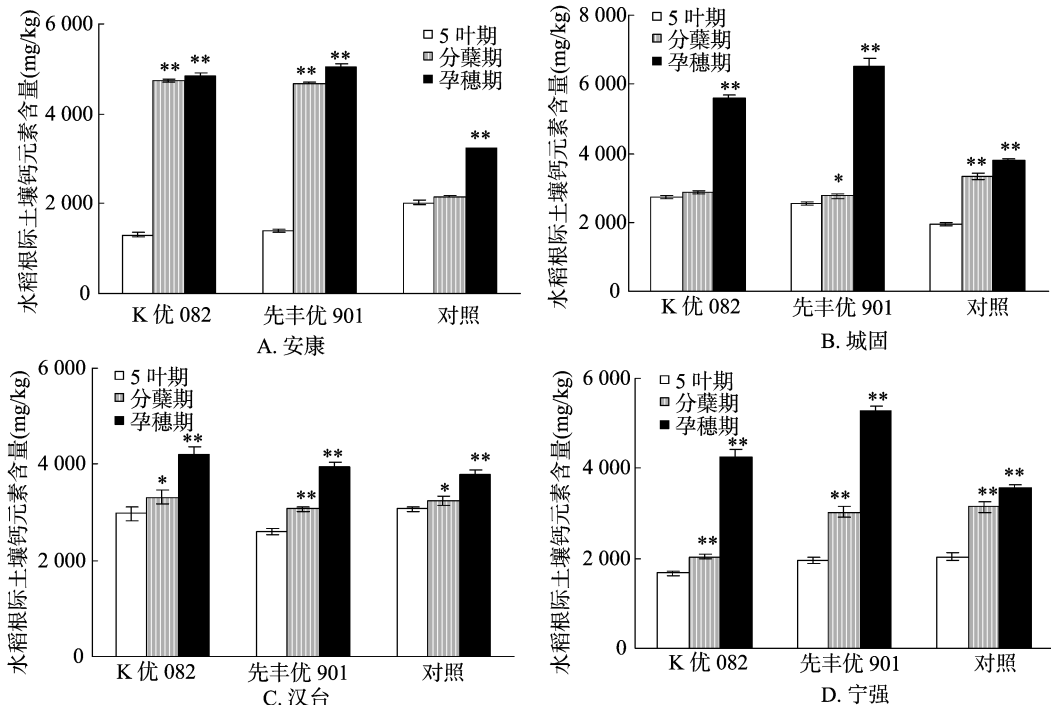


图1 采样地的水稻根际土壤钙元素含量变化趋势

### 2.2 镁离子变化趋势分析

这 4 个地区水稻根际土壤镁含量范围分别为 6 101.3 ~ 30 021.3、10 382.7 ~ 13 738.4、9 956.3 ~ 10 490.1、8 583.5 ~ 10 140.0 mg/kg。通过分析发现,安康、城固采样地的 K 优 082、先丰优 901 这 2 个水稻品种的根际土壤镁元素含量随水稻生长发育显著升高,与 5 叶期相比,分蘖期、孕穗期镁元素含量都极显著增加,分蘖期镁元素含量最高(图 2-A、图 2-B)。与 5 叶期相比,汉台采样地 2 个水稻品种的根际土壤镁元素含量随水稻生长发育逐渐升高,分蘖期镁元素含量最高,K 优 082 根际土壤分蘖期、孕穗期含量都极显著增加;先丰优 901 孕穗期根际土壤镁的增加呈极显著(图 2-C)。与 5 叶期相比,宁强采样地 2 个水稻品种的根际土壤镁元素含量随水稻生长发育逐渐升高,分蘖期最高,K 优 082 根际土壤分蘖期、孕穗期含量都极显著增加;先丰优 901 分蘖期根际土壤镁含量极显著增加(图 2-D)。

可以看出,这 4 个采样点的 2 个品种水稻根际土壤的镁元素含量都随着水稻生长发育过程逐渐增加,但均在分蘖期达到最高值,在孕穗期镁元素含量有一定程度的下降。这有可能是由于水稻在生长季节一直浸在水质较硬、钙镁含量较高的水中,累积导致根际土壤的镁元素含量升高;而随着水稻生长发育过程的进行,大量的镁元素被水稻根系吸收进入水稻体内,水稻根际土壤微环境的镁元素含量会有所下降,这就造成在孕穗期镁含量下降。

### 2.3 土壤含水量分析

水稻生长周期大部分都是浸泡在水里,因此,水分能够直接影响水稻的生长发育、根系伸长等<sup>[19]</sup>;同时,土壤含水量也会直接影响土壤微生物的种类、分布及土质类型等,进而间接影响土壤矿质元素含量和分布。因此,对土壤含水量的分析有助于分析土壤钙镁离子变化趋势的原因。

通过对水稻根际土壤含水量分析发现,由于水稻种植特

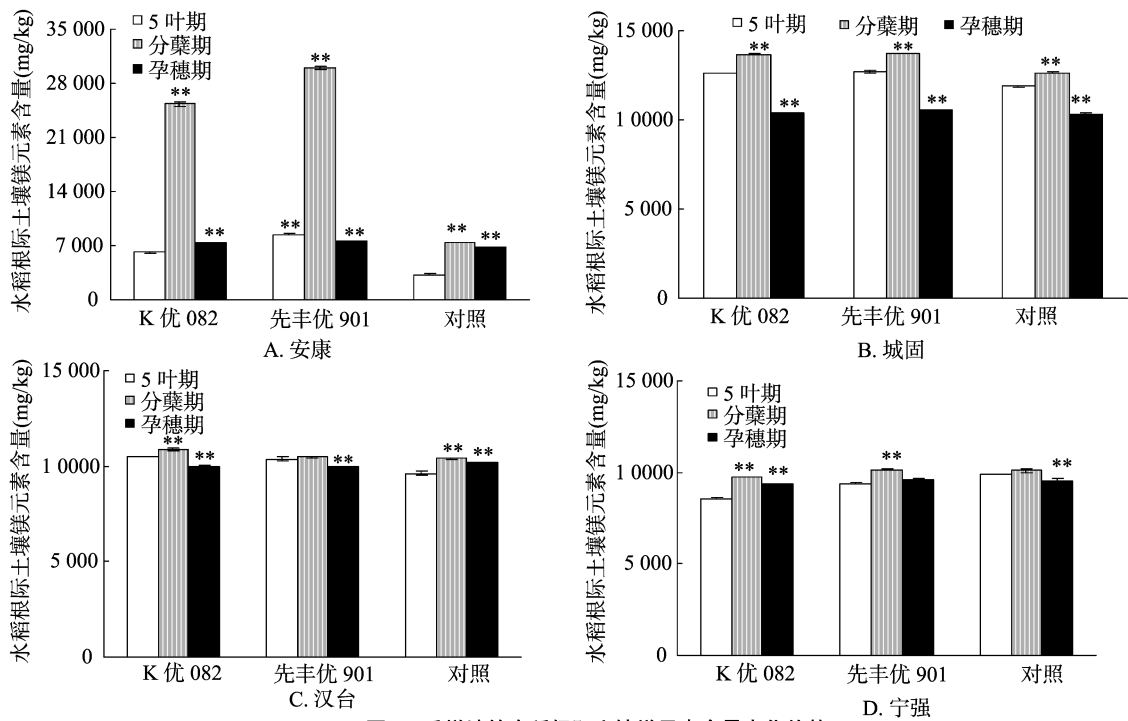


图2 采样地的水稻根际土壤镁元素含量变化趋势

点,水稻根际土壤含水量均随水稻的生长发育进程逐渐增加,在孕穗期土壤含水量甚至可以达到 50% (表 1),表明从水稻移栽到稻田后不间断地进行灌溉,灌溉水带来了大量矿质元素,这也是图 1、图 2 中水稻根际钙镁元素含量升高的主要原因。

2.4 土壤酸碱度分析

土壤 pH 值是土壤许多化学性质特别是盐基状况的综合反映,对土壤中微生物的活性、养分的转化与释放、微量元素的生物有效性以及元素的迁移等均有重要影响<sup>[20]</sup>。在不同

pH 值条件下,土壤中钙离子、镁离子会以不同形式出现,因此,研究土壤 pH 值对探讨钙、镁元素变化规律有重要作用。

研究表明,在 4 个采样地的 2 种水稻品种的根际土壤 pH 值都随着水稻生长发育过程逐渐降低 (图 3),这可能是由于随着水稻逐渐生长,其根系分泌物中有部分酸性物质,导致土壤 pH 值的下降。同时,pH 值的下降,使部分处于不溶状态下的钙离子、镁离子以溶解状态回到土壤中,这也是图 1、图 2 中钙镁元素含量上升的一个原因。

表 1 水稻根际土壤含水量

采样地	土样土壤	含水量 (%)		
		5 叶期	分蘖期	孕穗期
安康	K 优 082 根际土样	21.97 ± 1.23	39.08 ± 0.37	63.08 ± 2.69
	先丰优 901 根际土样	26.68 ± 0.49	34.88 ± 1.10	38.48 ± 2.03
	对照土样	34.77 ± 1.18	33.27 ± 0.27	54.45 ± 3.31
城固	K 优 082 根际土样	31.09 ± 0.54	32.69 ± 0.79	54.18 ± 2.11
	先丰优 901 根际土样	30.88 ± 0.79	32.92 ± 0.48	44.47 ± 1.77
	对照土样	26.37 ± 0.25	35.37 ± 0.24	46.44 ± 0.72
汉台	K 优 082 根际土样	22.61 ± 0.34	29.30 ± 0.55	47.63 ± 2.03
	先丰优 901 根际土样	24.18 ± 1.12	30.06 ± 0.60	35.56 ± 0.60
	对照土样	27.09 ± 1.37	29.83 ± 0.38	31.43 ± 1.58
宁强	K 优 082 根际土样	32.80 ± 0.79	38.00 ± 0.18	38.50 ± 1.90
	先丰优 901 根际土样	41.23 ± 2.45	37.04 ± 1.56	41.60 ± 1.41
	对照土样	40.80 ± 1.97	43.58 ± 0.28	40.84 ± 0.12

3 结论

通过研究并参考土壤肥力等级标准<sup>[21]</sup>和水稻生长时期营养元素需求发现,陕南地区水稻土壤钙镁肥力等级均为丰富 (在水稻不同生长时期,钙含量均大于 400 mg/kg,镁含量均大于 100 mg/kg)<sup>[22]</sup>,能够满足水稻生长发育的需求,不需要添加外源钙镁肥<sup>[23]</sup>,以免造成因过度施肥引起土壤胶体结构变化而导致水土流失及土壤盐碱化问题。土壤含水量符合

水稻生长发育过程变化。除安康地区为偏酸性水稻土 (pH 值为 5.5 ~ 6.5),其余采样地均为中性土壤,均适合水稻生长。

陕南地区是陕西水稻主产区,为保障西北水稻供应作出了重要贡献。本试验利用 ICP - OES 法对陕南水稻主产区的 4 个采样地的 2 个水稻品种在不同生长时期 (5 叶期、分蘖期、孕穗期) 的根际土壤的钙镁元素变化趋势进行了研究,结合土壤含水量和 pH 值探讨了可能影响钙镁元素的因素,为

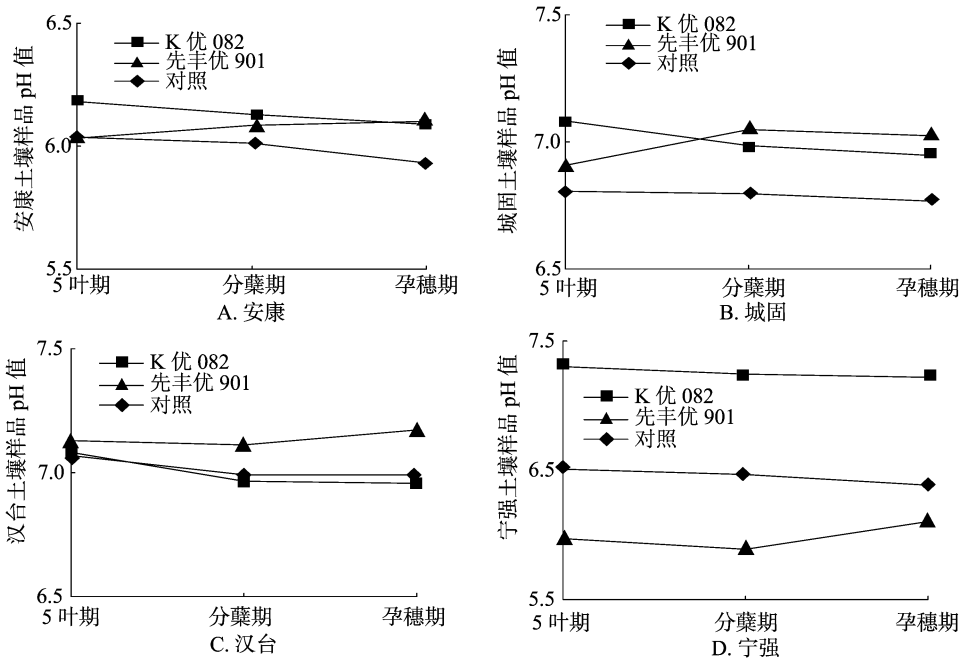


图3 水稻根际土壤酸碱度变化

后续该地区合理施用钙肥、镁肥起基础试验支持,同时,还能达到避免因过度使用钙、镁肥而对土壤造成的不必要的水土流失现象。

#### 参考文献:

- [1] Duester L, van der Geest H G, Moelleken S, et al. Comparative phytotoxicity of methylated and inorganic arsenic - and antimony species to *Lemna minor*, *Wolffia arrhiza* and *Selenastrum capricornutum* [J]. Microchemical Journal, 2011, 97(1): 30 - 37.
- [2] Pittman J K, Hirschi K D. Phylogenetic analysis and protein structure modelling identifies distinct  $\text{Ca}^{2+}$ /Cation antiporters and conservation of gene family structure within *Arabidopsis* and rice species [J]. Rice, 2016, 9(1): 3.
- [3] McCallum R I. Occupational exposure to antimony compounds [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2005, 7(12): 1245 - 1250.
- [4] Chio Y E, Harada E, Wada M, et al. Detoxification of cadmium in tobacco plants: formation and active excretion of crystals containing cadmium and calcium through trichomes [J]. Planta, 2010, 213(1): 45 - 50.
- [5] 黄平. 水稻镁离子螯合酶调控蛋白 GUN4 羧基末端的功能研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [6] 向猛, 黄益宗, 蔡立群, 等. 外源钙对两种价态锑胁迫下水稻幼苗吸收累积锑和钙的影响 [J]. 生态毒理学报, 2015, 10(3): 153 - 160.
- [7] 刘琳, 李伟, 张吴平, 等. 钙镁泥对不同土壤 pH 及部分元素有效性的影响 [J]. 水土保持学报, 2015, 29(6): 287 - 291.
- [8] 何春梅, 王飞, 林诚, 等. 不同土壤类型对硫酸钾镁肥中钾、镁、硫的吸附特性研究 [J]. 土壤通报, 2011, 42(3): 622 - 626.
- [9] 马欣, 吴绍洪, 戴尔阜, 等. 气候变化对我国水稻主产区水资源的影响 [J]. 自然资源学报, 2011, 26(6): 1052 - 1064.
- [10] 常彩屏, 郑楠, 郑和平. 汉中市城区地下水水质评价与分析 [J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2009, 25(2): 78 - 81.
- [11] 常彩屏, 郑楠, 郑和平. 汉中市地下水水质动态变化原因分析 [J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(3): 124 - 127, 131.
- [12] 张涛, 任昭, 王凤金, 等. 汉江汉中段水质调查与分析 [J]. 农业环境与发展, 2011, 28(2): 86 - 89.
- [13] 胡培松, 翟虎渠, 万建民. 中国水稻生产新特点与稻米品质改良 [J]. 中国农业科技导报, 2002(4): 33 - 39.
- [14] 梁婉波, 张国成. 汉江安康段水质卫生评价 [J]. 环境与健康杂志, 2001, 18(5): 283 - 285.
- [15] 陈丹梅, 段玉琪, 杨宇虹, 等. 轮作模式对植烟土壤酶活性及真菌群落的影响 [J]. 生态学报, 2016, 36(8): 2373 - 2381.
- [16] 张选明, 冯志峰, 李勤, 等. 陕西汉中优质稻生产现状及思考 [J]. 陕西农业科学, 2010, 56(3): 126 - 128.
- [17] 张兴, 张选明, 王小红, 等. 杂交水稻新品种 K 082 特征特性及高产栽培技术 [J]. 农业科技通讯, 2014(10): 193 - 194.
- [18] Fujii Y, Furubayashi A, Hiradate S. Rhizosphere soil method: a new bioassay to evaluate allelopathy in the field [C]. Proceedings and selected papers of the fourth world congress on allelopathy, 2004: 490 - 492.
- [19] Xu J, Peng S, Wei Z, et al. Characteristics of rice leaf photosynthetic light response curve with different water and nitrogen regulation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(2): 72 - 76.
- [20] Fang A, Han Y, Zhang N, et al. Identification and characterization of plant cell death - inducing secreted proteins from *Ustilago violacea* [J]. Molecular Plant - Microbe Interactions, 2016, 29(5): 405 - 416.
- [21] 绿色食品产地环境质量标准: NY/T 391—2013 [S].
- [22] 丁玉梅. 纳米硅制剂对水稻养分吸收及品质的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015.
- [23] Li Y, Shi W, Wang X. New insights into how increases in fertility improve the growth of rice at the seedling stage in red soil regions of subtropical China [J]. PLoS One, 2014, 9(10): e109161.