

田间土壤钾素有效性影响因素及其评估^①

王 箐, 鲁剑巍*, 张文君, 李小坤

(华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)

摘 要: 在全球性人口和资源的双重压力下, 充分利用土壤有效钾素和科学地施用钾肥, 对提高作物产量和保障农业生产可持续发展的意义重大。本文参考已有研究成果并结合自己最近的研究结果, 综述了影响农田土壤钾素有效性及其正确评估的若干因素。在影响土壤钾素有效化的众多因素中, 土壤黏土矿物类型、黏粒含量及气候水热条件是影响土壤钾素有效性评估的主要因素; 耕作措施改变了自然条件下土壤钾库有效钾的数量和土壤钾素的有效转化; 土壤有效钾的测定也是客观评价土壤供钾能力的重要环节, 进而影响着农田钾素养分管理策略, 这一因素在实践中常被忽视。文章最后还提出了今后该领域研究需要开展的主要内容和一些重要方向。

关键词: 土壤有效钾; 自然因素; 耕作方式; 采样时间; 测钾方法; 钾素评估

中图分类号: S143

作为植物生长必需的营养元素, 钾参与作物体内几乎所有的生理生化过程。一般生产条件下, 作物需要吸收大量的钾, 需钾量与氮相当, 在一些特殊条件下, 需钾量甚至超过氮, 可见钾在维持现代化高产农业中的作用极为重要。然而目前, 在一些地区农田钾素供应不足已成为制约农作物优质高产的主要因素^[1-3]。

自然条件下, 作物吸收的钾素主要来自于土壤。与其他元素相比, 钾在土壤中的含量相对较高, 在地壳中的平均含量为 2.6%^[4]。土壤中高量的钾来源于云母和长石类矿物及其风化产物, 但其中仅小部分对作物有效^[5]。于是在农业生产中, 钾肥成为了作物钾素的另一重要来源, 且施入的钾大部分对作物来说都是有效的。正常情况下, 作物可从土壤和施入的钾肥中摄取钾素来满足生长需要, 一般将这部分可被作物吸收利用的钾称为有效钾^[6]。长期以来, 人们一直致力于如何有效地利用土壤钾素来满足作物优质高产的需求, 为此开展了大量的研究工作, 包括土壤钾素形态研究^[7]、土壤钾素释放与固定特性研究^[8]、土壤钾素动力学研究^[9]、土壤钾素循环^[10]以及土壤钾素平衡^[11]等等。这些研究为研究者了解和掌握影响土壤钾素转化的诸多因素, 进而探索土壤钾素有效化的机制和手段提供了重要的信息。但是, 由于这些因素极易变动加

之作物生产体系复杂繁多, 目前这些研究结果仍不能很好地被利用以准确、高效地指导生产实践。

土壤自身性质十分复杂, 至今人们仍在不断地探索钾在土壤中的行为, 以求在合理考虑影响土壤有效钾转化众多因素的基础上, 对土壤有效钾的供应能力进行正确地评估和钾肥的科学施用, 最终达到作物高产优质、钾肥资源高效利用、土壤钾素肥力稳定提升、农业生产可持续发展的目的。为了实现这一目标, 本文借鉴前人的研究成果并结合本课题组已有的研究结果, 简要综述影响土壤有效钾含量的关键因素, 强调这些因素在土壤钾素有效评估工作中的重要作用, 旨在为土壤钾素评估的深入研究提供参考。

1 黏土矿物类型和黏粒组成是影响土壤钾素有效性的根本因素

黏土矿物类型的不同是影响土壤钾素有效程度大小的根本原因。研究证实, 不同土壤的供钾能力各不相同^[12], 其原因归结于各种土壤的不同形态钾素含量不同, 而各形态钾素含量又取决于土壤黏土矿物类型和黏粒的组成。地表主要的含钾矿物包括云母和长石类原生矿物及其风化后的次生矿物, 其中, 云母几乎全部存在于土壤黏粒中^[13], 由于黏粒对钾的吸附能力又强, 因此质地黏重的土壤钾素含量一般较高。Horst

①基金项目: 国家自然科学基金项目(41001178), 公益性行业(农业)科研专项项目(20120313-04)和中央高校基本科研业务费专项项目(2009BO080)资助。

* 通讯作者(lujianwei@mail.hzau.edu.cn)

作者简介: 王箐(1987—), 女, 辽宁阜新人, 硕士研究生, 主要从事土壤钾素肥力方面的研究。E-mail: duobaoyu@live.cn

Grimme^[14]曾建议可以用交换性钾含量结合黏粒含量来评价土壤钾素供应水平。黄绍文等^[12]对北方主要土壤供钾能力的研究表明, 土壤速效钾可利用部分的多少与土壤黏粒含量呈正相关, 当土壤溶液中钾素耗竭时, 黏粒含量多的土壤, 钾的补充能力大, 缓冲能力也大。其他的研究也证实了这种关系, 梁成华等^[8]指出土壤钾素缓冲容量与土壤黏粒之间存在显著的正相关关系。

土壤黏粒的组成直接决定土壤质地, 因此土壤质地是对土壤钾素有效性影响的重要因素^[7]。有研究建议对土壤钾素肥力分级需要根据不同土壤质地类型来划分^[15], 这对于制定钾肥施用方案十分必要, 因为在质地黏重的土壤上施钾, 钾肥首先要满足黏粒未被吸附点位, 才能被作物吸收利用^[16]。鲁剑巍等^[17]研究表明, 在土壤速效钾含量相当的土壤上, 土壤质地越粗油菜施钾效果越好, 而黏粒含量越高时油菜施钾效果越差。

2 气候水热条件是影响土壤钾素有效性的关键因素

水分和温度是影响土壤钾素转化的重要因素。封克等^[18]的水稻试验表明, 常温淹水条件下, 土壤 2:1 型黏土矿物层间钾的迁移十分迅速, 进而增大了非交换性钾素的有效性; 相反, 土壤水分减少则减弱了由于晶层膨胀导致的层间钾素的交换释放, 从而降低了土壤非交换钾的有效性, 同时与淹水状况相比, 土壤水分降低致使硅酸盐矿物的晶格结构更易受外界环境的影响而遭至破坏, 这种矿物风化作用会促进晶格内部深受束缚的钾离子的释放。徐国华等^[19]研究表明, 钾素耗竭土壤经淹水和湿润处理, 交换性钾含量降低, 主要原因是淹水导致黏土矿物晶层膨胀, 有利于更多的易交换性钾的层间交换。梁成华等^[8]认为, 淹水后交换性钾的降低是由于水分造成的还原环境使黏土矿物晶体中的 Fe^{3+} 被还原, 致使晶层间负电荷增加进而增大了钾的固定。丛日环等^[20]在红壤和黄褐土恒湿试验中发现, 红壤恒湿处理后速效钾含量增加, 并随着时间的延长有增加趋势, 黄褐土恒湿处理后速效钾含量有降低趋势。而干湿交替处理均促进了两种土壤钾素的固定, 可见, 尽管水分变化对不同土壤钾素有效化影响不尽相同, 但水热条件影响土壤不同形态钾素含量变化及其转化是不争的事实。

这部分研究的重要意义在于能指导研究者在复杂的田间条件下拟定合理的钾肥施用方案, 并正确地预测可能的结果。旱地种植条件下, 降雨和灌溉是田间

作物获得水分的重要来源。有报道显示, 玉米产量对钾素的反应在干旱或水分过多的年份总是高于水分接近正常的年份^[21]。范闻捷等^[22]研究表明, 在小麦玉米轮作后期, 缓效钾下降是由于降雨、高温和作物吸收共同作用的结果。同一研究的室内恒温培养结果还显示, 在相同水分条件下, 随温度的升高, 土壤缓效钾含量下降, 速效钾含量上升, 说明温度在促进钾的有效性方面发挥着重要作用。在雨养种植区域, 农田耕作制度多以水旱轮作为主, 因此土壤水分在周年内变化较大, 土壤干湿交替便成了影响土壤钾素有效性的主要因素。石孝均^[23]研究表明, 不施钾条件下, 多年稻麦轮作后土壤各形态钾素含量均有所降低, 该研究推测这种变化一方面是作物连作吸收带走了大量的钾素, 另一重要的方面可能是试验中长期的干湿交替过程最终限制了紫色土农田土壤钾素的释放。这一推论与多数研究的差异可能在于供试土壤的类型及土壤钾素状况不同, 但已有的研究足以说明气候水热条件是影响田间土壤钾素有效性大小的关键因素, 必需正视这一因素的存在, 进而利用其对土壤钾素有效性正面和负面的影响来调整钾素管理措施。在生产中可适当调整钾肥用量, 当气候出现逆境的年份应加大钾肥用量, 在雨水较多年份钾肥应分次施用以防流失, 在干旱季节钾肥宜集中施用于根层, 在周年轮作中钾肥分配宜冬季作物重而夏季作物轻, 在水旱轮作时旱季作物钾肥比例可多于水稻季。另外还可采取其他措施或改进施肥方法来增加土壤钾的有效性。如长期施用钾肥的地区, 田间土壤有效钾素因此得以维持, 在这样的土壤上施用钾肥的同时, 适当灌溉可以增加土壤钾素的有效性, 或是在钾素耗竭的土壤可将钾肥深施, 则可以减少由于表土干湿交替而引起的土壤钾的固定。

3 施肥措施是人为活动引起土壤钾素有效性变化的直接因素

与自然状态下的土壤相比, 耕作土壤易受人为耕作措施的影响。施肥使土壤养分含量发生变化是人为活动介入的重要方式之一。外源钾的投入可大大提高有效钾在土壤全钾中所占的比例^[24]。廖育林等^[25]研究表明, 长期施钾较不施钾处理土壤全钾、速效钾、缓效钾含量均有所增加。张会民^[26]对来自于全国不同气候和轮作制度下的 7 个典型农田土壤进行的研究表明, 长期施钾对不同土壤速效钾含量影响各不相同, 长期施用钾肥使得壤土、水稻土、潮土的速效钾含量明显升高, 使红壤、灰漠土和黑土的速效钾含量基本

维持稳定不变,而紫色土的速效钾含量在长期施肥条件下有降低的趋势。这样看来,施用钾肥对于土壤有效钾素含量的维持十分必要,同时,不同区域、不同土壤、不同轮作制度的农田钾肥用量要根据具体情况而定。以上研究还表明,施钾量和施钾方式尤为重要,若是钾肥(尤其是过多的钾肥)施入土壤不能马上被作物吸收,多余的钾或被土体吸附固定,或随水径流损失淋溶至深层,或被其他生物(微生物)利用等等,由此可见,钾肥的施用量和方式也是决定土壤钾素有效性的重要方面。

表 1 是近年本课题组在砂质土壤上对水稻-油菜轮作土壤中钾素含量变化的研究结果(数据未发表)。表 1 数据显示,在水稻-油菜轮作制度下,在缺钾土壤上施用钾肥可以减少 0~20 cm 土壤速效钾含量的降低量,速效钾的这种变化在 20~40 cm 的土层中表现出相似的趋势,但不如上层明显,说明施钾对耕层以下的钾也产生了影响。同时可以看出,在 0~20 cm 土层,两个轮作期较一个轮作期速效钾降低幅度有所减小,由此可以推测,若是长期施用钾肥,能够阻止土壤速效钾含量的下降甚至提高土壤速效钾含量,这点也为我国从上世纪 90 年代开始推广钾肥而扼制了土壤速效钾含量继续大幅度下降的实践所证实^[27]。

表 1 施钾对稻油轮作体系土壤速效钾含量的影响

Table 1 Effect of potassium fertilizer application on available potassium under rapeseed-rice rotation

取样深度 (cm)	试验周期	速效钾 (mg/kg)	
		不施钾	施钾
0~20	试验前	83.7	86.1
	一个轮作周期后	27.7	39.0
	两个轮作周期后	25.3	53.0
20~40	试验前	28.4	27.6
	一个轮作周期后	18.2	19.8
	两个轮作周期后	9.8	26.1

注:试验从水稻季开始,一个轮作周期包括一季水稻种植和一季油菜种植,取样时间在油菜收获后;施钾量每个轮作周期为 K_2O 150 kg/hm²。

在农业生产中钾肥一般不会单独施用,而是与氮磷肥配合施用。早期有很多研究涉及到氮与钾的交互作用。陈魁卿等^[28]早期的研究表明,氮钾肥配合施用可以促进大豆对土壤氮素和钾素的吸收。因此,施氮可以促进作物对钾的吸收从而使得土壤钾素有效性得到充分发挥。另一方面,从钾素的吸收机制来看, K^+ 的存在也可以促进 NH_4^+ 的同化,但有研究显示 K^+ 与

NH_4^+ 之间也存在着单方向的拮抗作用,至今这种作用的机制尚不清晰^[29]。大多数关于土壤磷影响作物的钾肥施肥效果的研究均表明,适宜的施磷水平可以维持作物体内较高的钾素含量^[30-31],磷钾配施亦可提高作物的产量和品质^[32];不仅如此,陈新平等^[33]研究指出,水分胁迫时施磷还可以改善作物的钾素状况。Zhou 和 Huang^[34]也系统地研究了磷对土壤中钾素迁移和转化的影响,同时还针对土壤体系的复杂性特点系统地研究了不同养分的形态、种类与土壤钾离子行为之间的关系^[35-36],他们的研究表明磷肥的施用可导致含钾矿物的溶解,而对长期施用磷肥的土壤,这种影响足以改变该土壤钾素的有效性。可见,磷肥的施用在影响土壤钾素有效性方面发挥了积极的作用。

4 不同耕作方式是人为活动引起土壤有效钾变化的重要间接因素

不同耕作方式引起的土壤钾素分布变化是影响土壤钾素有效性的又一重要人为因素。耕作明显地改变了土壤的物理化学性质,影响养分(钾素)的迁移运输。已有研究^[37]显示,免耕确实利于表土养分的富集,免耕土壤表层可提取的有效钾量较翻耕土壤多,无论种植作物与否,表土层速效钾均有富集的现象。徐菁和姜玲岩^[38]对稻麦轮作土壤供钾能力的研究表明,不同质地类型的土壤表层速效钾、缓效钾含量均为免耕高于翻耕。高亚军等^[39]的研究解释这一现象的原因可能与免耕土壤较翻耕土壤有机质更多积累在表土层有关,另与表土积累较多的有机质对土壤钾素的吸附固定多相关。同样,兰全美等^[40]对水旱轮作条件下免耕土壤速效钾变化进行的研究表明,免耕土壤 0~5 cm 土层速效钾含量高于下土层,其差值随免耕年限增加逐渐增大,其原因除表层有机物料较多外,还与土壤免耕时肥料只能施在表层易造成高钾富集有关。而翻耕土壤则不同,徐菁和姜玲岩^[38]研究显示,稻麦轮作中,无论是水稻季还是小麦季,翻耕条件下表土层速效钾含量均低于免耕处理,对于翻耕土壤,当肥料均匀施在 0~20 cm 土层时,冬天小麦季 5~15 cm 土层的速效钾含量超过上层,结果说明翻耕作业是造成土壤有效钾变化的重要原因。

除土壤的物理和化学因素外,耕作活动还通过影响作物的生长发育,尤其是影响根系的形态发育,进而间接地影响作物对养分(钾素)的吸收。近期苏伟^[41]的一项研究表明,在油菜种植中,与传统的精耕细作相比,免耕会抑制油菜对土壤养分的吸收,同时免耕条件下过多的杂草会与油菜竞争养分,减少了油菜对

有效养分的利用。这一结论可以解释为什么缺钾现象在垄作或保护性耕作的土壤上比较普遍。另外，作物的枯枝落叶中的钾在表层的积累亦是免耕条件下表层土壤钾素含量较多的一个原因。

5 土壤样品采集时间及有效钾的提取方法是客观评估土壤有效钾供应能力不可忽略的因素

5.1 田间取样时间对有效钾测定的影响

不同取样时间由于田间水热条件不同影响土壤钾素肥力的评估，这一点在前面已作讨论。这里谈到的是一个常常忽略的一个问题：多熟制地区何时取样更为合适？最近本课题组一个简单的试验可以提供一些启示（图1）：在一种速效钾含量很低的土壤上进行耗钾盆栽试验，经过一季水稻种植后土壤速效钾含量下降到较低水平，但在水稻收获后土壤速效钾含量出现回升，且随着时间的延长逐渐升高。在这个试验中，设置了3个处理，即水稻种植后移走所有的稻草和根茬（空白处理）、移走稻草、稻草和根茬全部留下，结果显示稻草和根茬全部留下的处理土壤速效钾含量在30天内有较大幅度的提高，另外两个处理的最终速效钾增加量基本相当，但留下根茬处理较空白处理土壤速效钾含量回升速度快。结果说明了稻草和根茬还田由于其中钾素的补充会明显提高土壤速效钾含量，同时还证实了土壤钾素耗竭后在一定时间内速效钾含量会出现回升，这不仅受秸秆还田量的多少影响还可能与土壤不同形态钾的相互转化有关。这一结果表明，如果利用土壤速效钾作为评估供钾能力的指标，在前季作物刚刚收获即进行土壤样品采集，并以测定的速效钾含量来指导下季作物的钾肥推荐，可能会低估土壤钾素供应能力从而导致过高的钾肥推荐用量。在两茬作物间隔期内的合适取样时间的确定及土壤钾素测定值的正确评估则是今后需要进一步研究的内容。

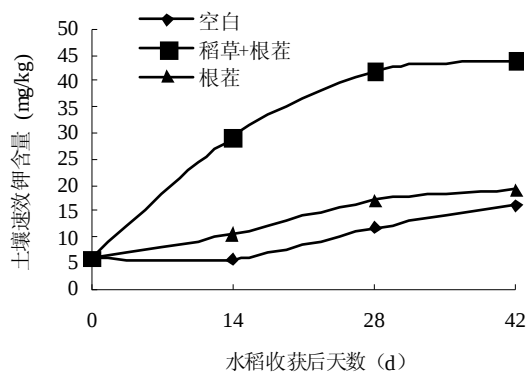


图1 土壤速效钾含量随时间的变化

Fig. 1 Changes of soil available potassium after harvest

5.2 土样风干过程对有效钾测定的影响

如前所述，干湿交替对土壤钾素含量影响很大，因此在土壤钾素测定前，样品风干处理过程中的水分散失必会造成土壤有效钾含量的变化。李小坤等^[42]比较了3种土壤采用新鲜样品和风干样品的速效钾含量（表2）得出以下结论：①正常土壤持水量范围内，不同含水量对土壤鲜样测定无影响；②土壤风干后不同土壤类型的速效钾含量与鲜样相比均有不同程度地降低；③对于同一土壤，鲜样的速效钾含量越高，风干后降低的幅度越大。研究证明了土样风干过程影响着土壤钾素的测定，因此在进行土壤钾素测定时采取何种前处理措施来尽可能真实反映土壤供钾能力是今后需要进一步研究的内容。

表2 不同土壤新鲜样品和风干样品速效钾含量比较

Table 2 Comparisons of available potassium in fresh soils and dry soils

土壤类型	土壤含水率	处理	速效钾 (mg/kg)	
			新鲜样品	风干样品
红壤	25%	-K	211.1	187.0
	40%	-K	223.2	194.7
	55%	-K	215.1	192.8
黄褐土	40%	-K	121.8	116.3
潮土	40%	-K	151.0	128.5
	40%	+K	281.8	223.4

5.3 不同浸提剂的选择对有效钾测定的影响

土壤速效钾含量是普遍应用的确定农田推荐施钾方案的指标，但在生产实践中也存在指标不稳定甚至不能正确推荐等问题。有研究显示，土壤交换性钾含量与作物吸钾显著相关^[43]，且越来越多的研究表明土壤非交换性钾在作物吸钾过程中也为其提供了连续不断的钾源^[44]，其含量的大小指示了土壤潜在的供钾能力，对作物的贡献不可忽略，因此土壤非交换性含量有时也作为钾肥推荐时需要参考的指标。尽管已有部分研究基础，但土壤中非交换性钾的测定结果却一直很难在生产实践中得到应用，尤其是有效部分无法量化，主要原因是1.0 mol/L 沸硝酸对土壤钾素的提取能力过强，其测定值无法与当季作物对土壤有效钾素的吸收量建立关系。因此，至今仍没有一种土壤非交换性测定方法被广泛地接受用来有效地指导钾肥施用。不过，近年王火焰等^[45]对四苯硼钠测钾方法进行了改进，也许更适于田间土壤钾素的生物有效性^[46]评价。

本课题组在最近的研究中尝试测定了10种不同土壤的速效钾、缓效钾以及改进的四苯硼钠测定钾含

量(图 2)结果。比较结果显示,每种方法测定的土壤钾含量高低顺序各不相同,这反映了不同方法对土壤不同形态钾素提取能力的差异。从图 2 中可以看出,除 10 号土壤外,其他土壤 3 种形态钾含量大小依次为:缓效钾量>四苯硼钠提取钾量>速效钾量,这说明,以不同浸提剂对土壤钾素的提取能力来看,四苯硼钠溶液既强于中性醋酸铵溶液,又不像沸硝酸那样作用剧烈,似乎更利于生物有效性的评价。当然,这个研究还需要进行相应的生物学试验才能证明改进的四苯硼钠测定钾能否客观反映土壤钾素供应能力。无论如何,选择正确的提取方法是客观评价土壤供钾能力的重要因素,今后大量的工作需要开展研究及验证。

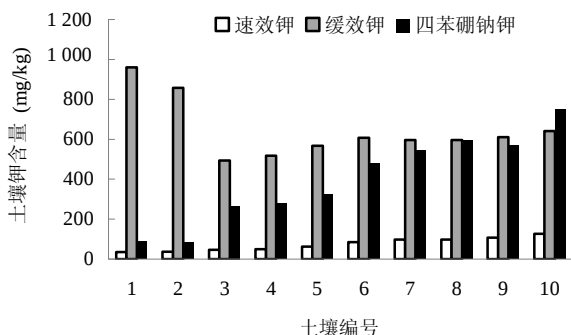


图 2 10 种土壤不同形态钾素含量

Fig. 2 Contents of different form potassium in ten types of soils

6 总结与展望

在影响土壤有效钾供应能力评价的诸多因素中,应该明确并特别注意几个重要的因素:①土壤的黏土矿物组成、黏粒含量以及气候水热条件是影响土壤有效钾的重要自然因素;②人为耕作措施既直接地补充了土壤有效钾的来源,又间接地改变着作物对土壤有效态钾素的利用,是评估农田土壤钾素有效性特有的人工因素;③土壤有效钾的测定在正确评价土壤钾素的工作中亦是不可忽略的因素,应引起足够的重视。总之,在各因素相互影响下的土壤钾素有效化评估工作尽管已有进展,但仍有很多问题不清楚或未注意到,今后一个较长时期内,在全球人口和资源双重压力下,研究和评估当季作物对土壤钾素的吸收量与土壤有效钾供应量之间的关系和相关因素及采取相应的农业生产措施依然十分重要。

Spencer 和 Stewart^[47]早在上世纪初就指出一种营养元素必须同时具备化学有效性和空间有效性才有可能被植物吸收利用。钾素在土体中的空间有效性不单单依赖于土壤,更大程度上取决于作物自身对钾素的

吸收能力和吸收机制。因此单纯地只研究土壤钾素状况及其环境因素是不够全面的^[48],更应该将其纳入到包括作物在的农田生态系统中开展研究,在这个系统中要有针对性地根据作物种类、土壤供钾能力、耕作方式等因素来制定正确的钾肥施用策略。

参考文献:

- [1] Zhang HM, Xu MG, Shi XJ. Rice yield, potassium uptake and apparent balance under long-term fertilization in rice-based cropping systems in southern China. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2010, 88: 341-349
- [2] 孙爱文, 张卫峰, 杜芬, 高利伟, 张福锁, 陈新平. 中国钾资源与钾肥发展战略. *现代化工*, 2009(9): 10-14
- [3] 陈烨, 连宾. 钾素循环及其农业利用. *安徽农业科学*, 2009, 37(25): 12 087-12 090
- [4] Reitemeier RF. The chemistry of soil potassium. *Adv. Agron.*, 1951: 113-164
- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 1999: 99-100
- [6] 和林涛. 长期施肥土壤-作物体系钾素动态变化研究(硕士学位论文). 重庆: 西南大学, 2008
- [7] Munson, RD. Potassium in Agriculture. Madison, WI: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, 1985: 201-157
- [8] 梁成华, 魏丽萍, 罗磊. 土壤固钾与释钾机制研究进展. *地球科学进展*, 2002, 17(5): 679-684
- [9] 章明清, 颜明娟, 林琼, 李娟, 陈子聪, 吴启堂, 陈防. 土壤钾素解吸模型及其特征值的作物效应. *土壤学报*, 2008, 45(1): 120-128
- [10] 姜子绍, 宇万太. 农田生态系统中钾循环研究进展. *应用生态学报*, 2006, 17(3): 545-550
- [11] 朱青, 王兆骞, 陈正刚, 尹迪信, 王文华. 中国西南地区坡地钾素平衡及管理措施探讨. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(6): 772-777
- [12] 黄绍文, 金继运, 王泽良, 程明芳. 北方主要土壤钾素形态及其植物有效性研究. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(2): 156-164
- [13] 杨振明, 周文佐, 鲍士旦, 史瑞和. 我国主要供钾能力的综合评价. *土壤学报*, 1999, 36(3): 377-386
- [14] Horst Grimme. 影响钾素有效性的土壤因素. *土壤学进展*, 1981(1): 48-53
- [15] 谭宏伟, 周柳强, 谢如林, 黄美福. 广西甘蔗种植区土壤钾素肥力分级研究. *广西科学*, 2003, 10(4): 321-324
- [16] 谢建昌. 钾与中国农业. 南京: 河海大学出版社, 2000: 85-89
- [17] 鲁剑巍, 陈防, 余常兵, 李剑夫, 张竹青, 刘冬碧, 熊涛. 油菜

- 施钾效果及土壤速效钾临界值初步判断. 中国油料作物学报, 2003, 25(4): 107-112
- [18] 封克, 殷士学, 张山泉. 矿物钾在作物营养中的意义. 土壤通报, 1992, 23(2): 58-60
- [19] 徐国华, 鲍士旦, 史瑞和. 土壤钾素供应状况的研究IV. 禾谷类及豆类作物对土壤层间钾的利用. 南京农业大学学报, 1991, 14(2): 47-52
- [20] 丛日环, 李小坤, 鲁剑巍. 土壤钾素转化的影响因素及其研究进展. 华中农业大学学报, 2007, 26(6): 907-913
- [21] Von Uexküll, HR, Bosshart RP. 钾和作物健康 // 谢建昌. 钾与作物健康. 南京: 江苏科技出版社, 1989: 1-11
- [22] 范闻捷, 介晓磊, 李有田, 白由路, 季保平. 潮土区小麦-玉米轮作周期内土壤钾素动态研究 I. 不施钾条件下土壤钾素动态与垂直变化. 华中农业大学学报, 1998, 17(5): 452-458
- [23] 石孝均. 水旱轮作体系中的养分循环特征(博士学位论文). 北京: 中国农业大学, 2003
- [24] 谭得水, 金继运, 黄绍文, 李书田, 何萍. 不同种植制度下长期施钾与秸秆还田对作物产量和土壤钾素的影响. 中国农业科学, 2007, 40(1): 133-139
- [25] 廖育林, 郑圣先, 鲁艳红, 谢坚, 聂军, 向艳文. 长期施钾对红壤水稻土水稻产量及土壤钾素状况的影响. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(6): 1372-1379
- [26] 张会民. 长期施肥下我国典型农田土壤钾素演变特征及机理(博士学位论文). 陕西: 西北农林科技大学, 2007
- [27] 田有国, 辛景树, 郑磊, 任意. 2005 年我国耕地土壤监测结果报告 // 周健民. 土壤钾素动态与钾肥管理. 南京: 河海大学出版社, 2008: 37-43
- [28] 陈魁卿, 程岩, 高妙贞. 应用 ^{15}N 示踪法对大豆氮钾营养规律与钾肥肥效的研究 (I). 东北农学院学报, 1984(2): 15-23
- [29] 孙小茗. 钾离子跨细胞膜吸收过程受铵影响的机理探讨(硕士学位论文). 江苏: 扬州大学, 2006
- [30] 蔡柏岩, 葛菁萍, 金惠玉, 刘丽君, 祖伟. 磷素水平对不同大豆品种钾素吸收效率的影响. 大豆科学, 2006, 25(1): 42-47
- [31] 向达兵, 郭凯, 杨文钰, 雷婷, 张静, 罗庆明. 磷、钾营养对套作大豆钾素累积及利用效率的影响. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 668-674
- [32] 林咸永, 张永松, 蔡妙珍, 张英鹏, 李刚, 杨肖娥. 磷、钾营养对柑橘果实产量、品质和贮藏性的影响. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(1): 82-88
- [33] 陈新平, 王敬国, 杨志福, 李晓林. 土壤水分胁迫条件下磷、钾营养的相互关系及其对小麦抗旱性的影响. 北京农业大学学报, 1995, 21: 71-76
- [34] Zhou JM, Huang PM. Kinetics of potassium release from illite as influenced by different phosphates. Geoderma, 2007, 138: 221-228
- [35] Du ZY, Zhou JM, Wang HY, Du CW, Chen XQ. Potassium movement and transformation in an acid soil as affected by phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. J., 2006, 70: 2 057-2 064
- [36] Zhou JM, Huang PM. Kinetics of ammonium phosphate-induced potassium release from selected soils. Can. J. Soil Soc., 1995, 75: 197-203
- [37] 吴建富, 潘晓华, 石庆华, 漆英雪, 刘宗发, 胡金和. 水稻连续免耕抛栽对土壤理化和生物学性状的影响. 土壤学报, 2009, 46(6): 1 132-1 139
- [38] 徐菁, 姜玲岩. 太湖地区稻田耕作方法的研究 V. 免耕稻田供钾能力. 江苏农业科学, 1984, 12: 28-29
- [39] 高亚军, 朱培立, 王志明. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对磷、钾和 pH 的影响. 土壤, 2000, 5: 257-261
- [40] 兰全美, 张锡洲, 李延轩. 水旱轮作条件下免耕土壤主要理化特性研究. 水土保持学报, 2009, 23(1): 145-149
- [41] 苏伟. 油菜轻简化生产中几项养分管理关键技术的初步研究(硕士学位论文). 武汉: 华中农业大学, 2010
- [42] 李小坤, 鲁剑巍, 陈防, 周六凤, 廖志文, 姜存仓, 吴礼树. 目前土壤钾素测定的前处理方法能真实反映田间土壤钾素水平吗? . 自然科学进展, 2009, 19(3): 297-301
- [43] 周米平, 刘金华, 杨靖民. 吉林省不同区域黑土供钾能力研究. 吉林农业大学学报, 2008, 30(5): 712-715, 752
- [44] 杨振明, 王波, 鲍士旦, 史瑞和. 耗竭条件下冬小麦的吸钾特点及其对土壤不同形态钾的利用. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 43-49
- [45] Wang HY, Sun HX, Zhou JM, Cheng W, Du CW, Chen XQ. Evaluating plant-available potassium in different soils using a modified sodium tetraphenylboron method. Soil Sci., 2010, 175: 544-551
- [46] Cox AE, Joern BC, Brouder SM, Gao D. Plant-available potassium assessment with a modified sodium tetraphenylboron method. Soil Sci. Soc. Am. J., 1999, 63: 902-911
- [47] Spencer VE, Stewart R. Phosphate studies: Soil penetration of some organic and inorganic phosphates. Soil Sci., 1934, 38: 65-79
- [48] Römhild V, Kirkby, EA. Research on potassium in agriculture: need and prospects. Plant Soil, 2010, 355: 155-180

Influential Factors on Soil Available Potassium Evaluation in Agriculture

WANG Zheng, LU Jian-wei, ZHANG Wen-jun, LI Xiao-kun

(College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Under the dual pressure of global population growth and resource reduction, making full use of soil available potassium and scientific application of potassium fertilizer are important for increasing crop yield and maintaining sustainable development of agriculture. This article reviewed the factors impacting the effectiveness of potassium and its assessment in farmland. Types of potassium-bearing minerals, clay content in soil, rainfall and temperature are main factors which affect the effectiveness assessment of soil potassium. Cultivation changed the proportion of exchangeable K to non-exchangeable K. Chemical extraction of soil available K was the other factor which was usually neglected in practice evaluation. The future researches about soil potassium were also suggested based on the achievement of our group and others.

Key words: Soil available potassium, Natural factors, Tillage methods, Time of soil sampling, Potassium determination methods, Assessment of potassium