

# 我国土壤钾素研究和钾肥使用的进展

谢建昌 周健民

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

**摘 要** 回顾了建国以来我国土壤钾素研究和钾肥使用的历程, 分别就钾肥效应, 钾肥有效施用条件, 土壤含钾矿物和钾的固定、释放, 土壤钾素含量、状态和有效性, 土壤钾素供给能力的评定, 农田钾素循环和平衡等方面的研究进展作了综述。从全国来看, 钾肥用量在逐年增长, 钾肥所占比例在逐步增加, 但与需求相比, 仍有很大差距, 应继续增加钾肥在化肥中的比重。在研究今后农业持续发展中的钾肥需求量时, 除了应看到我国农田土壤钾素肥力下降、钾肥有效地区在不断扩大的趋势外, 世界各国的用肥比例也可作为借鉴。

**关键词** 钾素研究; 钾肥; 进展

## 1 土壤钾素和钾肥效应的研究

50 年代初, 中国科学院南京土壤研究所等少数单位就开始了土壤钾素的研究, 以后由南而北逐步扩展到全国有关科研、教学和生产单位。不少单位先后成立了钾肥组, 完成了大量的研究和推广任务, 一些科研成果获得了政府奖励。土壤钾素研究还为我国造就了一大批科研人才。

土壤钾素和钾肥研究一直是土壤植物营养与施肥领域内最有活力的分支之一。以中国农科院土肥所为主多次召开了平衡施肥讨论会和学术年会。南京土壤所召开过 8 次钾素专题讨论会。各省也相继开展了多种形式的田间收获日、现场考察等活动。80 年代以来, 编辑和翻译了大量有关土壤钾素和平衡施肥方面的读物。这些活动大大促进了交流, 提高了科研水平。

钾方面的科研和推广工作之所以较为活跃, 除了因适应农业生产发展的需求外, 还与国外有关组织的密切协作分不开。南京土壤所与 IPI 的协作始于 70 年代末, 以后不少单位相继与之合作。1984 年起, 中国农科院土肥所和有关单位先后与 PPI/PPIC、加拿大钾肥公司协作, 现在 PPI/PPIC 在我国已先后设立了 4 个办事处。80 年代中期开始, 南京土壤所和有关单位与 IMC/SCPA 和以色列死海公司等组织进行了合作。近年来, 农业部全国农技推广中心与 UNDP 协作开展了平衡施肥研究与推广工作。这些协作有力地推动了我们的工作。

### 1.1 钾肥效应研究

我国自使用化肥以来, 共进行过 3 次全国规模的氮磷钾化肥肥效试验, 第一次是在 1936 ~ 1940 年, 第二次是在 1958 ~ 1962 年, 第三次是在 1981 ~ 1983 年。从三次试验的结果可以看出我国钾肥肥效的演变过程。1941 年张乃凤以“地力之测定”一文发表了第一次试验结果, 当时钾肥增产的试验数仅占总试验数的 10%。由林葆等总结的文章指出, 第二次试验的结果仍然是钾肥的施用效果较差, 多数试验未见增产作用。而相隔约 20 年后的第三次试验则表明, 钾肥的效果在南方已趋于明显, 而在北方大部分地区和粮食作物上仍未显效。

砖红壤及赤红壤地区是我国最缺钾的土带, 我国钾肥的大量试验和施用, 首先是从这个地带开始的。

粤西赤红壤丘陵地区栽培的大量橡胶树,于50年代末期曾一度出现相当普遍的黄叶现象,南京土壤所“橡胶树黄叶病工作组”与有关单位协作,于1960~1961年开展了研究工作,结果表明,缺钾是橡胶树发生黄叶病的主要原因。

60年代我国基本上没有钾肥供应。南京土壤所与建材部门协作,于60年代中期在粤西用水泥窑灰进行了大量试验,70年代初继续在广东、湖南、江西和江苏进行示范推广。在粤西地区的赤土田,对109块水稻田进行的窑灰钾肥试验,其中90%以上的田块增产稻谷10~35%(南京土壤所,1970)。广东143个水泥窑灰钾肥试验中,以砂质田、黑泥田的效果最好(广东土肥所,1973)。

70年代初期,南方一些省份水稻已发生缺钾现象,如谭宏志(1973)较早报导了广西柳州地区由石灰岩等风化物发育的水稻土上,水稻胡麻叶斑病主要由于缺钾所引起。后来秦遂初等对缺钾诊断进行了较深入的研究。

自70年代初开始,南方各省陆续开展了钾肥肥效试验,钾肥效果显著。如广西农科院土肥所1974年的6个玉米试验点上施钾增产21.0%,每公斤 $K_2O$ 增产玉米7.9 kg。

1981~1984年,农业部下达的由南方数省协作共同完成的“青海盐湖钾肥的合理使用和农业评价”课题中,196次田间试验结果表明,亩施5kg  $K_2O$ 平均增产稻谷34.8kg,每公斤 $K_2O$ 增产7kg稻谷(梁德印,1989)。

在70年代初至80年代初,钾肥效果不但在大量试验上表现出来,而且也从大面积示范中得到了证实。例如,南京土壤所与有关单位协作,1978~1979年在江西刘家站垦殖场进行的2万多亩窑灰钾肥试验;1979年在浙江金华县进行的早晚稻钾肥示范;1981年在广西柳江县进行的万亩钾肥示范;1983~1984年在江西泰和进行的105万亩钾肥示范等,都取得了显著的增产效果。湖南省于1979年进行的大面积晚稻钾肥示范,1982年在农业部协助下在广西柳江进行的12万亩示范,也取得了同样的效果。

加拿大钾肥公司于1986年起在广西,后来扩大到南方四个省份,开展了以配施钾肥为主要内容的平衡施肥示范,后来这一计划又扩大到其它省份。这一活动使众多的农民亲眼看到了平衡施肥的效益。

钾肥肥效在长江以南的水稻产区日益明显的原因,主要是由于推广了水稻高产耐肥品种和杂交种,增加了氮磷化肥的用量,水稻产量大幅度提高等等。鉴于钾肥肥效的演变情况,80年代初,农业部在全国推行配方施肥,在“八五”和“九五”期间,平衡施肥技术列入全国重点推广的十大农业技术之一。1992~1998年UNDP平衡施肥项目在全国7个地区进行。

关于北方地区的钾肥效应,中国农科院土壤所(1978)较早报导了分布在胶东和鲁东南的棕壤等土壤上施用钾肥的效果。吴国港(1980)报导了吉林草炭土的钾肥效果。

进入80年代以后,我国土壤缺钾程度加剧,在土壤含钾相对较丰富的北方地区,缺钾面积也逐渐增大。在部分地区,土壤缺钾已成为农业生产进一步发展的限制因素。北方地区各省开展了土壤钾素和钾肥使用研究,取得了大量结果,大部分试验结果刊载在“北方土壤钾素和钾肥效益”(中国农科院土肥所等,1994)和“北方土壤钾素肥力及其管理”(谢建昌等,1995)等论文集。在土壤含钾丰富的西北地区,已有不少施用钾肥有效的报导。近来来,新疆自治区的数篇报导强调了棉花施肥中配施钾肥的必要性。

最近,金继运(1990)总结了北方钾肥肥效的研究结果。自 1993~1998 年,在东北和华北(少量在西北有关省份)地区,安排了 1350 个田间试验和示范。结果表明,在施用适量氮磷肥的基础上增施钾肥,对主要作物均有显著的增产效应。

在北方地区也常有施钾不增产的报导。但是,进入 80 年以来,北方地区施用钾肥的增产效果逐渐增加的趋势是十分明显的。

大量试验证明,施用钾肥不仅可以增加产量、改善品质,还可以增强作物抗病虫害和抗不良土壤环境的能力。钾素供应充分时,在干旱条件下,作物的抗旱能力显著提高,在低温条件下,则可以减轻冻害。

## 1.2 钾肥的有效条件

影响钾肥肥效的因素不少,如土壤钾素的供应水平,氮磷肥的配合与生产水平,耕作制度,作物种类,气候条件,钾肥品质和施用技术等。

影响钾肥效用的诸因素中,土壤钾素肥力状况是最重要的因素。土壤速效钾的含量是一个容易变动的数值,在不施钾肥的情况下,速效钾含量受土壤缓效钾的释放速率和数量的控制。因此在评定当季作物的土壤供钾状况时,仅依据速效钾是很不够的,特别是在土壤钾素处于耗竭的情况下。1974 年在江西南昌召开的南方红壤会议上,谢建昌等在“我国红壤地区钾肥施用的某些问题”一文中,提出了以速效钾和缓效钾相结合,用以评定土壤供钾状况的建议。随后,很多研究者在这方面做了大量工作,在浙江、湖南、陕西、江西等省还提出了以这两种形态钾相结合的具体指标。金继运等根据土壤速效钾和非交换性钾含量或非交换性钾平均释放速率对土壤供钾能力进行评价,认为两种方法评价的结果是基本一致的。

钾与其他养分的合理配施是提高钾肥效用的最重要的条件之一。选择适宜的氮钾比不仅可以充分发挥钾肥的效益,还可以充分发挥氮肥的作用,因此它是科学施肥中的一个重要内容。但农业是一个变化的体系,施肥中的氮钾比是一个较为复杂的问题,它受到很多因素的影响。钾—镁之间的颀颀作用已有很多论述,在既缺钾又缺镁的土壤上要重视钾镁的相互作用。华南橡胶树出现的缺镁黄叶病的原因可能是土壤含镁量低,还由于施用钾肥抑制了橡胶树对镁素的吸收。近年来,南京土壤所与广东、广西等省的有关单位配合,在不同土壤上对 20 多种作物进行了钾镁肥配施试验,结果表明,在缺镁的土壤上施用镁肥对作物产量和品质有良好的效应。为了满足作物的营养需求,钾、镁均应维持在适当的水平。湖北省在土壤钾、硼含量低的红壤性水稻土上进行的油菜钾、硼试验结果表明,钾与硼配施有显著的正交互效应,在水稻上进行的 20 个田间试验表明,钾锌配施也有较好的正交互效应。

气候与土壤环境条件也影响钾肥的效应,往往在干旱年份钾肥的效果会特别突出。例如,1988 年秋,我国局部地区持续干旱,秋播受到影响。江苏宜兴市当年的累计降雨量仅为 43.5mm,而正常年景至少有 120mm 以上。南京土壤所与该市协作进行的 12 个油菜钾肥试验,施钾比不施钾者平均增产 91.5%,而正常年份只增产 20% 左右。1977 年杜承林等在安徽长丰县进行的蔬菜钾肥试验,由于 6、7 月间干旱少雨,不施钾的辣椒、番茄等蔬菜早衰严重,施钾后辣椒增产 50%,茄子则高达 200%,比正常年份要高得多。钾素供应充分时,作物抗旱能力显著提高,其原因是多方面的,其中  $K^+$  能提高细胞液的渗透压,对克服干旱条件下显著升高的土壤溶液渗透压的影响,使作物能吸收到土壤水分,是十分重要的。各地普遍

反映,在低、湿、冷、烂的土壤条件下,水稻施用钾肥的效果较好。湖北省的钾肥试验表明,钾肥效果为潜育型水稻土> 潜育型水稻土> 淹育型水稻土。陈际型(1982)的结果表明,在缺钾的土壤条件下施用钾肥,可降低土壤活性还原物质,提高水稻根系氧化还原电位,水稻茎叶的含铁量降低,生长较好。钾肥对根系微域环境氧化还原状况的影响的原因是多方面的,主要与施钾后根系的活力增强有关。孙羲等(1981)认为,水稻根系的活力与根的氧化力成正相关。施钾可增强水稻根系氧化力,使土壤中还原性物质含量降低,从而减轻硫化物、有机酸和过氧亚铁的危害,有利于水稻的生长发育。

在钾肥数量有限的情况下,将钾肥用在轮作制中最需要钾肥的作物上,可以获得较大的经济效益,因此各地重视了轮作周期中前后茬作物钾肥的合理分配的研究。各地就轮作制中钾肥的合理分配进行了很多试验,由于试验条件各异,所得结果不尽相同,但仍有一定的规律。如南方地区的双季稻轮作制中,钾肥的肥效一般是:晚稻> 冬作> 早稻;在水稻—小麦轮作制中是:小麦> 水稻。在旱地的主要两熟制中,如麦—棉、麦—玉米和麦—花生轮作等,一般钾肥以重点施于夏季作物(如玉米、棉花、花生)为好。

### 1.3 土壤含钾矿物和钾的固定、释放

1961 年李庆逵等发表的“我国红壤地区某些主要土类钾的含量、状态及含钾矿物的转化规律”一文是我国第一篇较全面论述土壤含钾矿物的文献。他们把红壤区的某些主要土类中的钾素进行分组分析,同时还应用 X 射线衍射法及偏光显微镜鉴定了主要粘土矿物及原生矿物。根据这些结果,把我国红壤区某些主要土类的钾素养分水平分为丰富、充足、不足等三级。同时还按照各组粒级(砂粒、粉粒及粘粒),以及成土母质中的钾素状态,说明了土壤发生及利用过程中云母、长石和微斜长石等含钾矿物的演变规律。

70 年代末,罗家贤等研究了我国农业区主要土壤的含钾矿物分布,含钾矿物中钾的形态及其释放,含钾矿物与土壤缓效钾的关系,以及温度对钾释放的影响等。发现< 2 纳米的云母含量与土壤缓效钾间有极显著的相关性,认为< 10 纳米的云母为土壤提供了大部分的缓效钾。这些研究工作较全面地论述了我国主要土壤中含钾矿物的分布和钾的释放情况,结合全国土壤供钾潜力等级,为我国土壤含钾状况和钾肥的合理施用,提供了科学依据。

进入 90 年代后,郑文娟等应用生物法研究了土壤含钾矿物与土壤供钾能力之间的关系,朱永官等进一步研究了南方一些土壤的含钾矿物,王果研究了福建省 10 个土壤不同粒级中的含钾矿物状况。

在研究主要土类粘土矿物成分和云母含量的基础上,罗家贤等(1988)研究了矿物性质与固钾能力的关系,比较了不同土壤的固钾率。研究结果表明,固定的缓效钾随矿物性质和土壤组成而变化,固定能力的顺序是:高岭石< 云母< 蛭石,砖红壤和赤红壤< 红壤< 潮土和黄棕壤。

金继运等(1991)对北方土壤的研究表明,不同土壤固钾量相差很大,表明出一定的地带性分布规律。施钾 1200mg/kg 以下时,土壤固钾能力的一般趋势是取自西北的土壤< 取自东北的土壤< 取自华北的土壤。

彭千涛等在水分和温度对土壤钾素释放、固定影响的研究中发现,风干处理和干湿交替等农业措施,对以含高岭石为主的土壤的钾素转化,没有明显影响,而含蒙脱石和水云母多的土壤,钾素的释放和固定量都加大。

范钦桢(1993)的研究结果表明,铵、钾施用次序对钾素释放、固定有影响,其影响程度与粘土矿物类型有关。铵的吸附固定可减少钾肥的固定,从而提高钾肥的有效性。因此在铵、钾施用次序上,先施铵后施钾时,钾肥固定少,先施钾后施铵时,钾肥固定多。

#### 1.4 土壤钾素含量、状态和有效性

李庆逵等(1964)发表的“从土壤钾素含量和状态来看我国钾肥问题”一文,率先论述了我国土壤钾的形态、含量和有效性,总结了国内某些土类含钾矿物和肥料试验结果,提出了全国各土区对钾的需要及钾肥施用的前景。同时也为土壤钾素研究奠定了基础。但是由于当时农业生产水平较低,进行的钾肥试验也不多,因而对含有一定水云母的华中地区红壤的供钾能力估计偏高。

随后,南京土壤所钾素课题组自 70 年代初开始对全国土壤的钾素形态含量和有效性进行了系统的研究。先后对近 90 种有代表性的土壤进行生物耗竭试验,比较了不同土壤的释钾能力,并结合化学的和物理化学的方法进行钾素有效性的评估。谢建昌等以土壤的缓效钾含量为主要依据,同时参考生物试验结果及土壤的粘土矿物分布状况,将供试土壤的供钾潜力分为从极低至极高的 7 个等级,同时编制了“中国土壤供钾潜力概图”。我国土壤的钾素养分潜力有自南而北增高的规律性,这与土壤中高岭石减少和水云母增多的分布规律是大体一致的。根据缓效钾含量编制土壤供钾潜力图,在国际上尚属首次。

各省在开展钾肥试验的同时,也对土壤的钾素含量、状态进行了大量的研究,明确了各个地区钾素的分布规律,为钾肥的合理分配和施用提供了科学依据。

从 1979 年开始至 1994 年结束,历时 16 年的全国第二次土壤普查工作,从宏观区域了解了土壤钾素养分的丰缺状况。土壤普查结果为农业部制定因土因作物施肥方案和配方施肥提供了依据,但遗憾的是,当时的普查测定项目中未包括缓效钾。

我国北方地区土壤钾素状况和土壤供钾能力自东向西表现出明显的地带性分布规律,自西向东,土壤各形态钾的含量逐渐减少,供钾潜力逐渐下降。田间试验结果也表明,钾肥在华北和东北地区的土壤上增产效果明显好于西北地区的土壤。金继运等(1999)应用地理信息系统(GIS)和相应的软件,建立了“中国北方土壤钾素地理信息系统”并绘制了“北方土壤钾素分级信息图”。

#### 1.5 土壤钾素供给能力的评价

关于土壤供钾能力的研究,国内也开展了很多工作。目前采用的方法有生物方法(田间试验、盆栽试验)、化学方法(如醋酸铵法、硝酸煮沸法、四苯硼钠法)、物理化学方法(如阳离子交换树脂法)和电化学方法(如 Euf 法)。

##### 1. 用生物耗竭试验方法直接了解土壤供钾状况

由于温室试验所需土体少,不仅被用于简单的肥效试验,而且还被用于钾的耗竭试验以确定土壤长期的供钾潜力。近年来,国内对土壤缓效钾的释放和利用进行了较多的研究。大量耗竭试验结果表明,水稻、大麦、玉米、黑麦及豆类等作物吸收的钾有很大一部分来自缓效钾(谢建昌, 1958, 1983; 鲍士旦, 1982; 廖先苓, 1983; 徐国华, 1991; 金继运, 1992; 罗奇祥, 1994; 周碧青, 1995)。在经过了数次的连续种植后,作物吸收的钾一般有 60~80%是来自缓效钾。在用缓效钾含量相差很大(18~1300mg/kg)的 26 种土壤进行的盆栽试验中,经过 4 次种植,水稻吸收的钾量因土壤而显著不同,吸收量最低者为砖红壤,仅 17mg/kg,最高者为潮

土, 达  $439\text{mg/kg}$ , 二者相差 26 倍。

用盆栽耗竭方法评定不同土壤的供钾潜力时, 最好选用多年生植物, 因在耗竭栽培过程中当土壤钾下降至一定程度时, 一年生植物往往不能继续生长, 而多年生植物仍能继续生长, 不断吸收利用土壤钾素, 使试验能继续进行。此外, 还要注意由于施肥引起盐分积累对植物生长造成的危害。生物方法虽然直接而有效, 但周期较长, 工作量大, 不可能大量进行。

## 2. 速效钾作为当季土壤供钾能力的指标

采用  $1\text{mol/L}$  中性醋酸铵提取的方法测定土壤速效钾已在中国很普及。但它与钾肥的效应或吸收量的相关性并不经常令人满意。这可能与以下诸因素有关: 有的样品经风干处理后, 引起云母粘粒层卷曲, 使钾素释放, 测定值不能反映田间实际情况; 由于作物吸收, 土壤速效性钾降低到某一“最低值”后不再降低, 因此根据速效钾量计算出的有效值偏高; 由于性质差异较大的土壤, 钾的有效程度不同; 底土对钾素养分的贡献常被忽略; 缓效性钾补充速效性钾的速率和数量不同; 土壤钾素有季节性动态变化, 不同季节分析的结果不同; 不同作物对钾的利用能力和需要量不同; 吸钾量还受到一系列环境因素的影响等等。因此笼统地用统一的速效钾指标, 会导致不正确的结论。

除了要科学地应用土壤速效钾含量作为指标外, 我国较早制定的速效钾含量分级标准也已有些偏低, 需加以修正。

## 3. 缓效钾作为评价土壤供钾潜力的指标

土壤缓效钾是速效钾的补给来源, 缓效钾的不断释放可以使速效钾维持在适当的水平。当评价土壤的长期供钾潜力时, 应主要考虑土壤缓效性钾的含量。由于土壤缓效钾含量反映了土壤供钾潜力和需钾前景。因此, 可据此绘制全国和有关省的土壤供钾潜力图。

土壤缓效钾的测定方法是采用  $1\text{mol/L}$  硝酸消煮  $10\text{min}$  提取的, 但土壤中什么组分、什么部位的钾被提取仍然十分模糊。这个测定方法中显然涉及到对土壤矿物成分的相当剧烈的处理, 使有些小颗粒矿物中的钾也释放出来。

四苯硼钠化学法是根据四苯硼钾的难溶特点而设计的, 这是云母结构矿物中非交换性钾的一种有效提取方法。

为使阳离子交换树脂方法简化, 杜承林等 (1987) 曾将氢饱和阳离子交换树脂先装入尼龙袋中, 然后再来提取土壤钾。用这种树脂袋法先后测定了 65 种土壤的有效性钾并与生物试验结果进行了比较。树脂袋连续 6 次提取的钾量与水稻连续种植 3 次, 大米草连续种植 7 次的吸钾量非常接近。实验结果还表明树脂袋法第一次的提取量相当于土壤的交换性钾, 而以后各次的提取量则是缓效钾中容易释放而被作物吸收利用的那部分钾。树脂袋连续提取的钾比酸溶提取的钾更能反映作物吸收和利用土壤钾素的实际情况。作物吸收和树脂提取量之间的高相关性证明树脂袋提取的钾是一种衡量土壤供钾能力的有效指标。用树脂袋法测定土壤钾素, 在国际上尚属首次。

鲍士旦和史瑞和 (1984) 认为, 用  $2\text{mol/L}$  冷硝酸提取的钾量既包括了土壤交换性钾又能更好地反映土壤非交换性钾对水稻的供应能力。

## 4. 钾的释放动力学与供钾能力预测

非交换性钾释放动力学在土壤供钾能力评价中有着更为重要的作用。因为土壤各形态钾之间处于一个动态变化中。当溶液中的钾被作物吸收或淋溶后, 土壤中的交换性钾便释

放到溶液中去。当速效钾的浓度减少后,土壤的缓效钾也会不断释放,以求达到新的平衡。在现有的土壤供钾能力的预测方法中,往往只考虑钾的提取量,而忽略了这种动态的变化。实际上,土壤的含钾量相同并不代表土壤具有相同的供钾能力,这是因为在速效钾被作物吸收利用以后,缓效钾和矿物钾的释放速度不同所致。

在 80 年代,土壤钾素转化动力学问题已经引起国内科研工作者的注意(周健民, 1986)。朱永官(1994)研究了不同土壤的非交换性钾在  $0.01\text{mol/L}$  草酸或柠檬酸中的释放动力学,并用一级反应方程、抛物线扩散方程、Elovich 方程和零级方程求出各土壤中钾的释放速度,结果表明钾的释放速率与土壤的非交换性钾间呈显著相关。作者认为  $1\text{mol/L}$  硝酸提取的非交换性钾不仅能反映土壤钾的释放总量,而且也可估计土壤钾素的长期供应能力和非交换性钾的释放。金继运(1994)从 16 个土类中选取 19 个表土样本,用连续流动法研究钾的释放动力学,其结果表明,不同土壤钾的释放总量、释放持续时间、平均释放速率和最大释放速率等均有很大差别。这些差别与土壤含钾矿物种类有直接的关系。在研究中他用一级反应动力学来描述钾的释放,并认为钾素释放动力学研究的结果与盆栽耗竭试验中供试土壤表现出的供钾特征相一致。薛泉宏(1999)采用 H 饱和树脂法研究了陕西 6 种土壤非交换性钾释放的动力学,结果表明,供试土壤非交换性钾释放过程在 912 小时内用直线方程拟合最好,非交换性钾释放速率可用于土壤供钾能力的评价。最近陈小琴用电超滤法(EUF)在恒温( $20^\circ\text{C}$ )及恒压(400V)下对几种土壤进行连续提取,选择了双常数方程拟合供土壤的难提取部分的钾素释放,选择了一级方程拟合易提取部分的钾素释放。

尽管钾的释放动力学的引入能帮助我们了解土壤供钾的强度、容量及速度方面较为全面地评价土壤的供钾能力,但释放速度的研究耗时费力。另外,土壤是一个十分复杂的体系,土壤的矿物组成、质地、水分、温度、pH、离子环境和微生物活动及耕作施肥体系等都会影响钾的释放速度。采用什么方法来研究钾素释放动力学,以确定钾的释放速度指标,仍有待于未来的工作。

此外,土壤供钾能力的  $Q/\lambda$  热力学指标以及土壤养分状况系统研究法,均已在我国广泛应用。

## 1.6 农田钾素循环和平衡

刘元昌等于 1982~1984 年曾对太湖地区不同水稻土和不同熟制的物质循环和能量转化进行了研究。结果表明,80 年代太湖地区农田养分平衡状况是:氮磷基本平衡或略有盈余,钾大量亏缺,亏缺量达  $53.5\text{kg}/\text{hm}^2$ ,接近施肥量的 60%。由于钾素的连年亏缺,钾肥有效面积在不断扩大。秦祖平(1989)报导了在太湖地区进行的类似研究。

自 80 年代起,一些研究者从宏观上分析了某一地区农田物质循环和平衡状况,先后报导过的有上海市郊、洞庭湖紫潮泥地区、福建中低产区、浙江杭嘉湖平原以及江苏、河南、安徽、新疆等省(区)的研究结果。尽管各地情况不同,但所得结果的趋势较为一致。在氮、磷、钾养分收支中,氮素有盈余,磷素基本平衡,而钾素总是亏缺的。

采用不同的施肥措施,进行多年的定位试验,可以较好地说明农田养分平衡状况。在 80 年代于广西、湖南、江西、浙江等地进行的 7 个定位试验,在试验进行了 3~5 年以后,曾对养分平衡状况进行了统计(谢建昌, 1989)。结果表明,钾肥、稻草或厩肥单独施用均不能保持钾的收支平衡。只有当化学钾肥与稻草或厩肥一道施用时,才出现基本平衡或盈余。近

年来,福建、广东、江西等省对已进行多年的长期定位试验进行了总结,对农田养分平衡进行了计算,结果一致表明,一般用量的有机肥,不足以维持土壤的钾素平衡,在不补充化学钾肥的情况下,土壤钾素存在较大的亏缺,应坚持有机肥与化学钾肥配合施用的原则。

钾素的支出大于投入,其亏缺部分显然是土壤提供的,即依靠土壤钾素来维持一定的产量,因而农田土壤钾素的收支状况,将反映在土壤钾素肥力水平的消长上。

近年来各地土壤肥力监测点的系统测定结果表明,无论南方或北方,农田土壤的速效钾含量普遍呈下降趋势,年下降量(K)为  $0.58 \sim 3.32 \text{ mg/kg}$ ,在原来钾素肥力较低的土壤上下降较多。

长期定位试验更能反映土壤钾素肥力的变化,尽管各地土壤类型、原有的土壤含钾量、轮作、施肥及试验年限不同,在不施钾或施用一定量钾肥的情况下,土壤速效钾一般均有不同程度的下降。

以上大量试验结果表明,在目前施肥情况下,农田三要素的平衡中,钾素一般处于亏缺状态,有的还严重亏缺。由于钾素收支不平衡,土壤钾的消耗加剧,因此缺钾矛盾日益暴露。例如江苏省平均土壤速效钾(K)每年以  $1.91 \text{ mg/kg}$  下降,缺钾面积已占耕地面积的 70%。江苏在全国来说应属中度缺钾的省份,从而可以推断中国的缺钾面积已不是二十多年前估计的 23%了。为了维持和提高土壤钾素肥力,使作物高产稳产,应充分注意土壤钾素的平衡问题。目前北方多数土壤的供钾潜力较高,土壤中蕴藏的较为丰富的钾素也是很宝贵的资源,应很好地加以利用。在目前钾肥供应不足的情况下,不能仅为了钾素投入和产出的平衡,向这类钾肥尚未显效的土壤上施用钾肥。但如果钾肥施用有了一定的增产效果,就应注意钾肥的补充。而采用什么方法或指标去评价养分平衡,仍是需要研究的问题。

近年来出版了不少有关钾肥和平衡施肥的读物,我们把案头有的,加以集中,列于表 1 (不含综述性植物营养、肥料与施肥等方面的出版物)。这样做,一方面是为了展示我们的成绩,另一方面,在目前以“自编自销”为主的情况下,也有利于交流。

## 2 钾肥的使用

### 2.1 钾肥使用进展

回顾 50 年来我国化肥的使用情况,可以看到我国钾肥应用的发展过程。在 70 年代前,基本上没有矿质钾肥供应。70 年代中期以来,氮、磷肥用量大幅度增长,而钾肥用量仍然很少。如广东省 1979 年化学钾肥销售是按每亩耕地计算,仅有  $0.4 \text{ kg}$ ;浙江省仅  $0.25 \text{ kg}$ 。自 80 年代初开始,钾肥用量逐步增加,氮磷钾比例(N:  $\text{P}_2\text{O}_5$ :  $\text{K}_2\text{O}$ )由 1980 年的 1: 0.29: 0.04 调整至 1990 年的 1: 0.28: 0.09。1997 年钾肥用量( $\text{K}_2\text{O}$ )由 1990 年的 147 万吨增加至 322 万吨(不含复合肥),增加 119%,氮磷钾比例(N:  $\text{P}_2\text{O}_5$ :  $\text{K}_2\text{O}$ )调整为 1: 0.32: 0.15(不含复合肥)。

应该说明的是,我国每年还施用了大量的复合肥,如 1997 年为 798.1 万吨,如将复合肥中所含氧化钾养分也加入计算,则氮磷钾比例中磷所占比例会上升,钾的比例会下降,这是由于复合肥中含磷比例高,而含钾比例低。如 1994/1995 中国进口的复合肥中,各成分所占比例 N 为 30.5%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  为 66.3%,  $\text{K}_2\text{O}$  为 3.2%。



表 1 出版的钾肥和平衡施肥读物				
类别	名 称	字数(万)	出版时间	主要编者所在单位
著作	中国南方农业中的钾	45	1991. 12	农业部科技司
	农业中的钾(译)	167	1995. 6	中科院南京土壤所
	优质烤烟生产的钾素与微素	30	1995	中科院南京土壤所
	湖北土壤钾素肥力与钾肥应用	29	1996	湖北省农科院土肥所
	广西土壤钾素状况与平衡施肥研究	35	1998	广西省农科院土肥所
论文集	农业生产中钾氮的交互作用	14. 5	1984	中科院南京土壤所
	土壤钾素的动态	12	1986	中科院南京土壤所
	钾的土壤测试与作物反应	8. 4	1987	中科院南京土壤所
	钾素与作物健康	13. 4	1989	中科院南京土壤所
	国际平衡施肥学术讨论会	75	1989	中国农科院土肥所
	钾素与作物品质	16	1990	中科院南京土壤所
	中国平衡施肥报告会		1991	加拿大钾肥公司
	土壤肥力研究(译)	20	1992. 2	广东省农科院土肥所
	最高产量研究	40	1992. 9	中国农科院土肥所
	土壤钾素和钾肥研究	20	1992. 9	农业部科技司
	土壤养分状况系统研究法	10	1992. 9	中国农科院土肥所
	热带亚热带地区经济作物平衡施肥	25	1992. 12	中科院南京土壤所
	钾与全素平衡施肥	20	1993. 3	安徽省农科院土肥所
	北方土壤钾素和钾肥效益	30	1994. 8	中国农科院土肥所
	江西三高农业中钾肥高效施用综合配套技术研究		1994	江西省农科院耕作所
	北方土壤钾素肥力及其管理	58	1995. 8	中科院南京土壤所
	中国平衡施肥计划会议 II		1996	加拿大钾肥公司
	菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥	49. 3	1997. 10	中科院南京土壤所
小册子及其它	主要作物缺钾诊断	4. 3	1982	中科院南京土壤所
	缺钾症状(挂图)		1983	中科院南京土壤所
	湖南省土壤钾和钾肥	11. 9	1988	湖南省农科院土肥所
	现代农业中的钾(译)	7	1989	中科院南京土壤所
	“硫酸钾镁肥”是一种好肥料(挂图)		1989	中科院南京土壤所
	棉花平衡施肥与营养诊断	18. 5	1992. 3	中国农科院棉花所
	作物高产 优质施肥系列丛书(译)(烟草、棉花、小麦、柑桔、香蕉、甘蔗)	42	1992. 11	中科院南京土壤所
	主要作物的推荐施肥技术(译)	12	1993. 1	中国农业大学
	钾氮配合—提高氮肥的效应(计)	5	1994. 3	中科院南京土壤所
	钾肥施用新技术	10	1994. 5	浙江省农科院土肥所
	作物钾素营养与诊断	11	1994. 8	西南农业大学
	钾与农业(译)	5	1993	广东省农科院土肥所
	钾肥使用的理论与实践	22	1995. 8	农业部全国农技推广总站
	硫酸钾的效应及其合理施用	6	1995. 9	中科院南京土壤所
	钾与植物健康	12. 5	1998	安徽省农科院土肥所

下面进一步分析一下不同地区钾肥施用情况。中国南方即秦岭、淮河以南的区域,包括上海、江苏、浙江、福建、安徽、江西、湖北、湖南、广东、广西、海南、四川、重庆、贵州和云南共 15 个省(区、市)的化肥在 1980~1997 年的 18 年中增加量很大,尤以钾肥增加最快。氮磷钾比例由 1980 年的 1:0.25:0.05 调整至 1997 年的 1:0.31:0.18(不含复合肥)。复合肥的施用量也在大大增加。

南方各省(区)的情况也是不同的。其中以广西(1:0.39:0.54)、福建(1:0.31:0.39)、广

东(1:0.29:0.35)的用钾比例最高,这3个省(区)的用钾量均超过了用磷量。海南、湖南、江西等省的氮钾比为1:0.26~0.31。以上地区,将氮钾比例调整至1:0.6应该是不过分的。

近年来,华北和东北的一些省份的用钾量也在增加,如山东省的钾肥用量从1989年的5.0万吨增加到1997年的29.2万吨,因此对全国不同省份的钾肥用量进行比较时,山东省是仅次于广东、广西之后第三个用钾量较多的省。山东和河南是华北地区用钾较多的省份。山东省的氮磷钾比例为1:0.28:0.15,河南为1:0.44:0.14。黑龙江、吉林和辽宁的氮钾比为1:0.09~0.13。

西北地区用肥较多的3个省(区)中,陕西省的氮钾比接近东北的一些省份,而甘肃和新疆的肥料中钾所占的比例要低得多,氮钾比约为1:0.05。

从全国来看,目前已重视平衡施肥和施用钾肥,也正因为如此,近几年来钾肥用量不断增长,钾肥所占比例也在逐步增加,但与需求相比,仍有很大差距。

## 2.2 增加钾肥在化肥中的比重是未来农业可持续发展的必然要求

在研究今后农业可持续中钾肥的需求量时,首先应看到我国农业土壤钾素肥力普遍下降,缺钾面积和钾肥有效地区在不断扩大的趋势。同时,世界各国的用肥比例也可作为借鉴。

自1971/1972至1988/1989年的17年间,世界化肥施用量增长了1倍。1988/1989年为施用量最多的一年,达145百万吨,但以后几年持续下降,1993/1994年下降至120百万吨。这主要是由于东欧和前苏联的施用量减少,西欧也有所减少,只有亚洲的施用量仍在增加。1994/1995年起世界化肥施用量开始恢复增长。

自1971年/1972年至1997/1998年的26年间,世界化肥氮磷钾比例(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O)的变化趋势较为明显,磷和钾所占比例在下降,由1971/1972年的1:0.67:0.51调整至1997/1998年的1:0.39:0.26。这26年间世界磷钾使用比例的下降是由于发达国家所用肥料中氮磷钾比例由1:0.77:0.65调整至1:0.42:0.42所致。而此时期内发展中国家磷的比例稍有下降,而钾的比例略有增加。在1996/1997年发展中国家较之发达国家用磷比例稍低,而用钾比例要低得多。

欧美发达国家自80年代开始,用肥中的磷、钾比例有所下降,这是什么原因呢?上个世纪欧美经济和工业的高速发展,较早地开始了化肥的施用。欧洲和北美开始施用化肥要比发展中的亚洲早大约60~70年,而其磷钾肥的施用先于氮肥的施用约60年,因而在欧美,在使用廉价氮前,农业土壤中的磷、钾含量早已很丰富了。这一情况是由耕作制度所决定的。欧美种植了大量牧草,畜牧业发达,将磷钾肥用于豆科作物,大大促进了饲料产量的提高、氮的固定和牧畜的增加,从而也有了大量的厩肥。欧洲和北美直到60年代后期,氮肥的用量才超过了磷钾肥。几十年间,肥料的大量施用提高了土壤肥力。自1950年开始至80年代初,每年投入的N、P、K是作物取走的好几倍。因此投入的营养特别是P、K养分长期盈余,土壤中的P、K养分特别高。虽然目前施肥中磷钾比例有所下降,但粮食产量仍保持稳定。

而亚洲(包括中国)则是另一种情况。豆科饲料作物和牧畜只占次要的地位,这样普遍先缺乏的是氮。从1966年开始,由于现代高产品种的推广和能降低氮肥价格的新合成氮技术的引入,开始大量施用氮肥。然而“绿色革命”没有给亚洲的钾肥消费量带来多大的影响。钾肥施用滞后,甚至直到现在,亚洲的一些国家仍在大量消耗土壤钾素肥力。

尽管发达国家化肥中磷钾比例近年来有所下降,但在世界上用肥较多的6个国家中,中

国的氮钾比例( $N:K_2O$ )仍显著低于除印度以外的法国(1:0.62)、美国(1:0.44)、德国(1:0.37)、俄罗斯(1:0.35)。更显著低于亚洲地区用钾比例较高的马来西亚(1:2.55)、日本(1:0.9)等国家。由于钾肥投入不足,土壤钾素一直处于亏缺状态,这将严重影响我国农业的可持续发展。

中国钾肥供应不足是一个不争的事实,但要对钾肥需要量进行预测仍然是一个十分复杂的问题,除了要考虑农业持续发展的需要外,还受资源、政策、钾肥价格以及其他因素的制约。

1997 年经一些专家反复讨论,并在广泛征求意见的基础上对我国化肥需要量和比例提出了建议,到 2000 年和 2010 年,化肥的年供应量应分别达到 4200 万吨左右和 5000 万吨以上,建议 2000 年我国化肥的总需求量中氮磷钾比例为 1:0.40~0.45:0.25,即需  $K_2O$  620 万吨~640 万吨。到 2010 年氮磷钾比例为 1:0.40~0.45:0.30,如果以化肥需求量为 5000 万吨计算,则需  $K_2O$  860 万吨~880 万吨。但实际情况证明,要实现 2000 年的钾肥用量指标是很困难的,应当引起有关部门的重视,因为钾肥比例太低,减少了氮磷肥的利用率,给农业持续发展和环境保护都会带来不利影响。

参考文献(略)

(上接第 235 页)

本因素。例如,各种养分和有毒物质只有当以离子态存在时,才能被植物吸收。这些物质对植物的有效性不决定于其总量,而决定于一系列的化学反应后实际存在于土壤溶液中的离子的数量及其补充速度。可变电荷土壤保持的养分离子的数量较小,但是易于通过人为的措施加以调节。这类土壤能够吸持硫酸根、硝酸根等阴离子,使之不易淋失,这种能力是恒电荷土壤不具备的。可变电荷土壤专性吸附硫酸根时释放的羟基中和了酸雨中的一部分氢离子,减缓了土壤酸化的速度,这使在评估红壤对酸雨的敏感性时需要采用不同于恒电荷土壤的模式。土壤如果不具有缓冲性,则土壤溶液的 pH 将因环境条件的变化而不断剧烈变动,对植物的生长不利。过强的氧化条件可以导致养分平衡的破坏,过强的还原条件可以引起某些有毒物质的产生。从长期的土壤发生看,土壤的酸化过程、碱化过程、潜育化过程、灰化过程等,实质上都是有关的带电粒子间的相互作用的结果。因此,对土壤的微观性质的认识是采取宏观的调节措施的基础和前提。

在我国,由于多种原因,土壤学基础研究本身既不够发达,其实际应用更少。这与科学先进的国家显著不同。举一个例子,今年七月间举行的“第六届湿地生物地球化学国际会议”上,有半天的时间,由 Patrick(美国湿地土壤学的创始人)过去的八个学生就各自的科研成果作了报告。报告的内容涉及氮及磷的有效性、海岸沼泽地的修复和河口湿地的修复以及军事工程中的海口挖掘物质的生物地球化学和炸药的降解等。令人感兴趣的是,所有的报告内容都涉及土壤的氧化还原性质。可见在美国基础科学的实际应用多么广泛。有理由相信,在我国,随着土壤科学和其它相邻科学的全面发展,土壤电化学基本理论在国民经济包括农业生产和生态环境中将得到日益广泛的应用。