

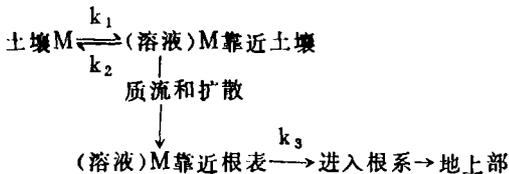
土壤养分供应和作物施肥

史 瑞 和

(南京农学院)

早期植物营养的研究工作大部分是化学家进行的。近年来土壤肥料工作者主要从土壤的供肥性能、作物的需肥规律和肥料的性质三者的相互关系来研究作物营养和施肥技术,以指导作物施肥。土壤是植物生长的介质,是作物营养元素的主要给源。水稻一生中吸收的养分约百分之七十来自土壤,不足之数则由肥料补给。当然气候条件对作物施肥也有重要影响。多年来人们重复着N、P、K的肥效试验,进展很慢。这主要是因为影响作物施肥的因子较多,它们之间的相互关系又较复杂,需要使用可靠的精密的测试手段。现代自然科学的发展,如同位素技术、电子探针以及其他精密仪器的使用,特别是电子计算机的广泛应用,使我们对复杂的体系有可能进行综合的研究和分析,增加人们对作物营养研究进展的信心。

一、作物对养分的吸收



上式中的M代表营养元素。根系吸收养分的多少在一定程度上决定于溶液中养分的浓度。浓度愈高植物吸收的养分愈多,这就是养分供应的强度因素。当溶液中养分浓度因植物吸收而降低时,则固相土壤不断释放养分以补给之,这就是容量因素。补给的快慢(k_1/k_2)就是速率因素。大家知道,有的土壤发小苗不发老苗,也有的土壤发老苗不发小苗,这里就包含着养分供应的强度因素、容量因素和速率因素。在不同情况下某一个因素或几个因素起着主导的作用。另外作物的蒸腾作用需要从土壤吸收大量的水分,造成土壤中水的质流。溶解于水中的养分可以随着质流到达根系表面。继而进入根系,当到达根系表面的养分量大于养分吸收量时,可使养分在根系表面聚集,但当质流中的养分不能满足作物需要时,会造成根系附近范围内土壤中养分的浓度的降低,从而形成浓度差。养分

将由浓度高的地方向浓度低的地方扩散。在养分供应上质流和扩散作用那个重要,决定于土壤溶液中该养分的浓度和蒸腾系数,一般来讲,浓度较高的离子如 Ca^{++} 、 Mg^{++} 等一般主要由质流供应进入根内;而浓度低的离子如 $H_2PO_4^-$ 和 k^+ 则藉扩散作用移至根表。但通常扩散距离是不大的。

另一方面根系的伸长,扩大了养分供应的范围,同时通过接触交换根系也能直接从固相表面吸收养分,例如试验证明根从悬浊液吸收的养分多于从水溶液吸收的,说明接触交换吸收是存在的,但一般认为接触吸收在整个植物养分需要量中所占比重不大。因为根系直接接触的土壤体积只占整个土体的1—2%。

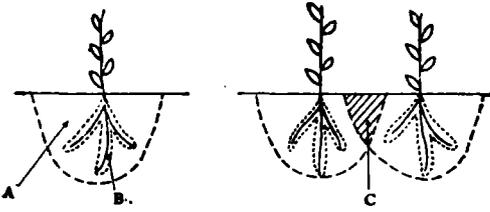
根系发育愈好,吸收养分的能力愈强。发育良好的根系是作物高产的基础。近年来研究植物营养的人也很重视对根系的研究,不同作物吸收养分的能力不同,除去作为生理的原因外,一个很重要的原因是由于根系类型的不同。同一种作物吸收养分能力的不同,与幼苗期根系发育的好坏有重要关系。耕作施肥措施必须注意能促进根系的生长发育。影响根系生长的因子有土壤物理特性,肥料的施用技术以及从叶子供应的碳水化合物等。

肥料深施能促进根的生长发育,表面撒施对于移动性小的养分不利于根的吸收。美国对作物施肥强调用施肥机把肥料施于一定的部位和深度,以利于根系的吸收。

N、P、K三要素对根系生长的影响不同,磷钾肥对根系有促进作用,特别是钾肥能促进根的生长,防止某些作物幼苗的根腐病。氮肥用量适宜有利于作物的生长,用量过多则将抑制根的生长。因为根系的生长发育需要充足的碳水化合物供应。当氮肥用量过多,则植物体内氮的代谢过旺,消耗了大量的碳水化合物,致使根得不到充足的碳水化合物供应而生长受阻。

从根吸收养分的范围来看,活动性大的离子如 NO_3^- 运动的距离大,活动性小的离子如 $H_2PO_4^-$ 运动的距离小,其吸收范围往往只限于根表几毫米的距离,所以,有人把根系可以实际吸收到的范围称为有效吸收体积。根据这一有效吸收体积,可进一步区分为根

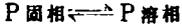
表吸收区和根际吸收区。 K^+ 、 Ca^{++} 等离子的活动度介于 NO_3^- 与 $H_2PO_4^-$ 之间。



A为根际吸收区, B为根表吸收区。C为活动离子吸收竞争区。根和根对养分离子的竞争吸收是影响种植密度的重要因素。

二、土壤养分供应及其测定方法

(一) 磷的供应



1. 强度因素 土壤溶液中磷的浓度很低, 一般只有 $10^{-5} - 10^{-6} M$ 。土壤吸持磷的能力很强, 有人用固相表面磷的化学位势来衡量其对植物有效性的。但是固相表面磷的化学位势不好测定。Schofield 用 $0.01M CaCl_2$ 溶液, 以 1:10 的土液比例, 振荡 1 分钟, 然后测定滤液中的钙和磷, 以 $1/2pCa + pH_2PO_4$ 表示, 称为磷位。虽然溶液中离子活度的乘积并不等于固相表面磷的化学位势, 但它们之间密切相关, 因此 Schofield 建议的磷位得到广泛应用。但也有人不同意这种做法, wild 等人认为土壤磷供应的强度因素, 不应用磷位表示, 而应用浓度表示。磷位的测定比较麻烦。试验证明, 用 $0.01M CaCl_2$ 溶液按上述方法提取, 以 $\log[p]$ 表示, 不仅方法简单, 而且与作物吸收磷的相关性较高。

2. 容量因素 (1) A值。凡能为植物吸收的磷统称为有效磷。因此土壤有效磷的测定当以生物方法为最可靠。利用放射性磷肥进行盆钵试验, 测定植物从肥料吸收的磷和植株的总磷量, 即可计算土壤有效性磷总量。

$$A : B = (1 - y) : y$$

$$A = B \frac{1 - y}{y}$$

A = 土壤有效磷总量

B = 施入土壤的放射性磷肥量

$$y = \frac{b}{a + b} \quad b \text{ 为植物从肥料吸收的磷, 从植物样品放射性强度的测定求得。}$$

a 为植物从土壤吸收的磷。

a + b 为植物样品含磷总量, 从植物样品中磷的化学测定求得。

(2) E值。凡能与溶液中 ^{32}P 进行交换的磷都能为植物吸收。同位素交换是一种原子与原子间 (^{31}P 与 ^{32}P) 的交换, 它比之一般离子交换更为深入。它可以在更为结晶化的磷酸盐表面上进行, 而离子交换是不可能在这种情况下进行的。因此它更接近于土壤固相表面活性磷的总含量, 也更接近于用同位素吸收法测定的 A 值。

(土壤) ^{31}P + 溶液 ^{32}P = (土壤) ^{32}P + 溶液 ^{31}P
当溶液中 ^{32}P 与土壤固相表面磷达成平衡时, 则

$$\frac{\text{固相}^{31}P}{\text{固相}^{32}P} = \frac{\text{溶液}^{31}P}{\text{溶液}^{32}P}$$

$$\text{固相}^{31}P = \text{溶液}^{31}P \times \frac{\text{固相}^{32}P}{\text{溶液}^{32}P}$$

$$E \text{ 值} = \text{固相}^{31}P + \text{溶液}^{31}P$$

$$= \text{溶液}^{31}P \left(1 + \frac{\text{固相}^{32}P}{\text{溶液}^{32}P} \right)$$

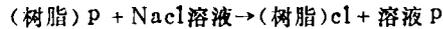
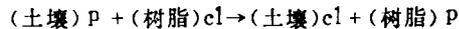
$$= \text{溶液}^{31}P \left/ \frac{\text{溶液}^{32}P}{\text{溶液}^{32}P + \text{固相}^{32}P} \right.$$

$$= \text{溶液}^{31}P / f_t$$

上式中溶液 ^{31}P 即可溶性磷, 可用钼兰比色法测定; f_t 为经交换作用后残留在溶液中 ^{32}P 百分数, 可以根据原始溶液和平衡溶液放射性强度的测定而求得。

(3) 阴离子树脂交换磷。固相土壤磷处于不同的结合形态, 凡能为树脂吸附的磷均为有效磷。因此可以把在足够时间内为树脂吸附的磷作为有效磷总量, 将不同时间内为树脂吸附的磷作为磷的分组。树脂吸附磷与植物吸收磷相似, 是单方面的, 测得的结果更符合实际情况。

当树脂吸附溶液中磷时, 则溶液中磷的浓度降低, 促进固相磷的不断释放, 使所有有效磷均为树脂所吸附。吸附在树脂上的磷用 NaCl 溶液置换下来而测定之。这可用下式表示:



(4) 用化学试剂连续提取。一般速测法提取的磷包括水溶性磷(强度因素)和一部分固相表面磷, 统称为速效磷, 这部分速效磷与有效磷总量有一定的相关性, 这是速测法应用的依据。如果要把全部有效磷提取出来, 则必须用多次连续提取的方法, 不断打破固相表面磷与溶液中磷的平衡, 使固相表面磷不断释放出来。连续提取的总量代表容量因素, 各次提出的量则反映释放速率。

3. 质流和扩散作用 质流和扩散作用的意义前面已经提到, 在测定方法上质流进入根系的养分可以从溶液中离子的浓度和不同作物的蒸腾量以及植株养分浓度来计算。磷的扩散作用可以用一定大小的土

块, 浸泡在³²P 含的溶液(10微居里)中, 经一定时间后, 测定土块各部位放射性强度, 就可了解磷在土中的扩散范围和扩散速度。

4. 磷吸附等温曲线 以上几种方法测定的是关于磷的有效性和有效磷量, 它们只与磷肥反映的大小有关, 而不能说明需要施多少磷肥才能达到最高产量。磷肥需要量的直接测定当更有意义, 磷吸附等温曲线就是这方面的尝试。



在一定土水比例、振荡时间、温度下, 加入不等量的磷(0—25ppm), 达成平衡后, 测定平衡溶液中磷的浓度和土壤固相上吸附的磷, 绘制平衡溶液磷浓度和土壤吸附磷的曲线, 此即为磷吸附等温曲线。它受温度的影响很大。故制作曲线时温度一定要恒定, 所以称为吸附等温线。

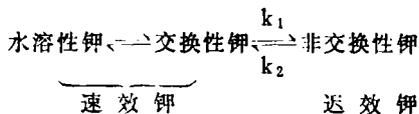
磷吸附等温线对测定土壤需磷量的应用, 试验证明, 土壤溶液中平衡浓度维持在0.3ppm时, 玉米、小麦等的生长量即可达到最高生长量的95%。根据吸收曲线即可计算任何一土壤中为了维持这一平衡浓度数值应该有多少固相表面活性磷。如果测定值证明数量不足, 则就可以计算出要施用多少速效磷肥以补足之。

(二) 钾的供应

土壤钾的供应一般均用速效钾(强度因素)和迟效钾(容量因素)来衡量。

速效钾包括水溶性钾和交换性钾, 用一种盐溶液就可以把它们提取出来。为了把交换性钾与非交换性钾分开, 一般都用醋酸铵溶液来置换交换性钾, 铵离子一方面置换交换性钾, 另一方面阻止非交换性钾的释放。只要注意操作步骤, 就可以获得可靠的结果。

迟效性钾指的主要是非交换性钾, 它与交换性钾处于一定的平衡中:



非交换性钾是土壤交换性钾的补给源, 不同土壤补给的量和速度不同, 因此它也是钾供应的重要指标。迟效钾的测定最可靠的是生物方法。用盆钵试验, 生长多年生牧草, 在一个生长季节内每隔一段时间收割一次。连续收割六次。测定牧草吸收的总钾量, 减去试验前土壤中速效钾的量, 即得迟效钾量。

上述方法需要较长时间, 为了缩短试验时间, 可以先用砂培培育玉米, 以获得密集根系、增强根的吸收能力 然后将砂培培育的幼苗(15苗)移到土壤(100克)上继续培育, 十天后收获。将地上部和根系烘干称重, 并分析钾的含量。

非交换性钾 = 玉米吸收的钾量 - 试验前土壤中交换性钾量 - 种子中所含的钾量

这个方法大大缩短了试验时间, 所得结果与第一种方法接近,

然而, 生物方法毕竟较麻烦, 迟效性钾的测定用比较多的还是化学提取方法:

(1) 1N HNO₃ 提取。1:10的土液比例, 煮沸10分钟。过滤, 测定滤液中的钾。这个方法虽然理论依据不强, 但应用很广, 它与生物方法测得的结果相关性很高。

(2) 连续提取。用一种盐溶液如 1N NaCl—0.1 N HCl 混合溶液多次连续提取土壤, 以期所有有效钾都被提取出来。

(3) NaOAc—NaTPB混合溶液一次提取。利用四苯硼钠(NaTPB)与钾作用生成KTPB沉淀。当溶液中钾为四苯硼钠所沉淀, 则土壤固相钾不断释放出来。土壤加四苯硼钠溶液振荡一定时间后, 过滤。滤纸上的土壤和KTPB沉淀, 多次用70%丙酮淋洗, 以溶解KTPB。溶解在70%丙酮溶液中的钾用火焰光度计或原子吸收分光光度计测定之。

(4) 阳离子交换树脂法。利用阳离子交换树脂吸附溶液中钾, 破坏溶液中钾与固相钾之间的平衡, 促使固相钾的不断释放。这与阴离子交换树脂进行土壤有效磷的测定和磷的分组一样, 阳离子交换树脂法可以测定土壤有效钾总量和进行钾的分组。

(三) 氮的供应

土壤有机质是土壤氮素供应的仓库, 有机态氮经矿质化作用转变成无机态氮如铵态氮和硝态氮, 为作物吸收利用。一个生长季节内究竟有多少有机态氮被矿质化, 是大家关心的一个问题。由于对易矿化氮的研究不够, 因此土壤氮素供应情况的测定还没有一个比较令人满意的方法。

(1) 从土壤有机质和全氮的测定进行估量或者用培养方法测定易矿化氮。一般假定一个生长季节约有1—3%的全氮矿质化为无机态氮, 供作物吸收。一般有机质含5%氮, 再乘以矿化系数, 即可估量有效氮的供应。因此土壤供肥性能的测定, 有机质和全氮仍然是有用的指标。

培养方法即利用土壤微生物对有机态氮的矿化作用, 测定被矿化那部分氮。培养方法有好气培养和厌气培养。好气培养法取一定量土壤, 在适宜的温度、水分、通气条件下进行培养, 测定培养过程中释放出来的无机态氮, 即测定在培养前和培养后土壤中铵态氮和硝态氮的总量, 二者之差即为矿化氮。好气培养法沿用至今已有很多改进, 主要表现在: 用的土样重量(10—50克); 土样的处理, 新鲜土样或风干土样, 加或不

加填充物如砂、蛭石以改善土壤物理性质,以及土样和填充物的比例;温度控制(25—35℃);水分和通气调节(10克土加6毫升水或加水至土壤持水量的60%);培养时间(14—28天)。很明显,培养的条件不同测出的结果就不一样。

厌气培养法即在淹水条件下进行培养,测定在培养过程中释放出来的铵态氮。培养条件较易掌握,不需要考虑通气条件和严格的水分控制,可以用较少的土样(5克)和较短的培养时间(7—10天),方法比较简单、快速、结果的再现性也较好,因此厌气培养法更为大家所重视。

(2) 水解性氮的测定。这个方法国内用得比较普遍,大家把水解性氮看作易矿化氮。水解性氮的测定有酸解法和碱解法。酸解法即用 $0.5\text{NH}_2\text{SO}_4$ 进行水解,再用重铬酸钾氧化,最后进行蒸馏和滴定。方法很繁,结果的再现性又差,不适于例行分析。碱解法又可分为碱解扩散法和碱解蒸馏法。我们认为碱解扩散法是一个理想的方法,它不仅能测定土壤中氮的供应强度,也能看出氮的供应容量和释放速率。国内已有很多人对这个方法进行了研究和应用。在控制的温度下(28—40℃)加 1NNaOH 溶液于土样进行水解和氮的扩散,测定不同时间内释放出来的氮。开始时释放的氮量可以看作氮素供应的强度指标,各个不同时间内测出的氮量为速度指标,各个时间内测出的氮量的总和为容量指标。

(3) 有效氮的同位素测定法(A值)

本法与用放射性同位素磷测定土壤有效磷方法的原理相同。只是用稳定同位素 ^{15}N 作为标志肥料。方法好象很吸引人,但是它的应用不象磷的A值法那样普遍。

理论上A值不应受标志肥料用量的影响,土壤有效磷A值的测定符合这个原理,而有效氮A值则受标志肥料用量的影响,例如随着标志硫酸铵用量的增加,测得的A值逐渐降低,这可能是由于多量铵态氮的存在对硝化作用不利。此外不同形态的标志氮肥,测出的结果相差很大。看来用 K^{15}NO_3 测定土壤有效氮A较值为理想,因为硝态氮较易与土壤有效氮达成平衡。另外测定 ^{15}N 的技术要求亦较高,也限制了它的广泛应用。

三、作物经济合理施肥

(一) 提高肥效

利用同样多的肥料增产更多的粮食,一般用每斤肥料所能增产的粮食(或其他农产品)的斤数表示。肥料的施用量、施用时期和施用方法都与提高肥效有关。

看苗施肥,我国农民有着丰富的经验,但如何把这些丰富的经验,应用于社会主义大农业,仍有待于我们的努力。目前在肥料施用量上有很大的盲目性,一方面在大面积田地上肥料用量不足,另一方面在小块样板田上肥料用量过多,造成养分的大量损失,不能达到大面积均衡增产。由于各地区未能进行系统的长期的肥料试验,因此在肥料施用量上仍心中无数,这种状况必须迅速改变。

注意肥料施用技术是提高肥效,减少养分损失的重要环节。近年来氮肥深施已为大家所重视。作物早发、稳长、老而不早衰都与土壤中养分供应的强度、容量、速率诸因素有关。氮肥深施,肥效稳而长,浅施,肥效猛而短;粒状肥料(特别是压力机压成的较大颗粒)作用慢,粉状肥料作用快;长效肥料与一般肥料性质又有不同。人们有可能用不同性质的肥料,适当搭配,同时深施与浅施结合,使肥料一次施入以满足作物整个生长过程对养分的需要。日本人多年来根据高产肥沃土壤供肥的特点,进行施肥技术的研究,在水稻施肥上强调深层施肥。通过施肥技术的研究,人们有可能控制养分对作物的供应,以满足作物高产的需要。

(二) 减少养分损失,提高肥料利用率

养分损失主要是三个方面:(1)挥发损失,(2)淋溶损失,(3)土壤对肥料的固定。氮素化肥的损失主要是气体挥发,部分由淋溶而损失,目前我国氮素化肥的利用率平均只有34%,美国氮肥利用率平均为46%,说明我国氮肥的损失很严重,这与我国施用的氮肥品种有关,但是更重要是施用方法不当。提高氮素化肥的利用率是农业生产中的一个极其重要的研究课题,它与生物固氮研究一样有价值,都是国际性的共同研究课题。

磷肥的利用率更低,一般只有10—25%。磷肥利用率低的原因主要是土壤的固定,注意磷肥的施用技术,可以提高磷肥的利用率。

(三) 降低成本,增产增收

我们一方面要大力积造有机肥料,改进有机肥的积制方法,提高有机肥料的质量,注意有机肥料的分配和施用,同时要用好化肥。一定的施肥习惯和施肥体系是在一定的历史条件下形成和发展起来的。在小农经济条件下,水旱轮作中,多年来我国农民把有机肥料重点施在水稻上,以期水稻高产。而现在试验结果表明,水田中施用过多的有机肥料,特别是没有腐熟的有机肥料如绿肥,对水稻生长不利;如把有机肥料多分配一些在麦子上,对土壤结构的改善和肥力的提高都有好处,对两熟增产当更为有利。为了提高劳动生产率,迫切要求我们对旧的施肥习惯和施肥体系进行深入的研究和必要的改革。

科学种田,合理施肥,就是要尊重科学、按客观规

律办事,处理好有机肥和化肥,基肥和追肥,积肥和用肥,肥料的质量和数量,养分供应的强度和容量,以及用地与养地等各种关系,逐步形成一个新的、与社会

主义大农业相适应的、完整的施肥体系,以适应农业现代化的要求,把农业生产迅速搞上去。

上海郊区土壤磷素形态及其有效性的初步研究*

汪寅虎

(上海市农业科学院土肥所)

上海郊区处于东海之滨,长江三角洲南侧地势平缓的平原区。土壤母质由长江冲积物沉积而成,土层深厚。土壤质地大部为中壤—重壤,少部分为轻壤和粘壤。土壤pH值大多在6.5—7.5之间。由于成土条件和不同的耕作措施的影响,形成了上海郊区不同的土壤类型。大体分布情况是西部地区地势低洼,以青紫泥为主,东部以黄泥头为主,中部古岗身地带为沟干泥和黄泥头成复区分布,沿海大片土地在长期耕作利用下为已经脱盐或基本脱盐的夹沙土。

上海郊区目前是以种植水稻为主的稻、麦、棉、油、绿肥夹种区。其特点是复种指数高,耕作制度类型丰富,土壤肥力因素日趋复杂。

近年来,根据我们对上海郊区土壤肥力特性的研究,发现土壤中全磷的含量并不因复种指数的增加而减少,而是逐年有所积累。据分析,几种主要土壤如黄泥头、青紫泥、沟干泥和夹沙泥,土壤全磷量都在0.13—0.17%其中有相当一部分土壤超过0.20%。可是一些田块磷素含量虽高,但产量水平并不高。形成作物高产的因素是相当复杂的,然而在上海郊区氮肥水平比较高的情况下,磷素无疑是影响产量的相当重要的肥力因素之一。据试验,西部地区青紫泥土壤有效磷(0.5M NaHCO₃提取)和早稻单产的相关系数 $\gamma = 0.95^*$ ($P = 0.05$),这就说明了土壤磷素的供应水平直接影响着作物对磷的吸收,而磷素的供应水平又往往取决于土壤中不同形态的磷素。本文从主要土壤类型的磷素形态研究出发,简要讨论土壤磷素的有效性问题的。

一、不同形态磷素的含量

无机磷的形态分级按张守敬和 M、L、Jackson 等

人提出和修改的系统分级方法1。土壤有机磷采用 Mehta(1954)的方法,即用 HCl—NaOH 提取以后再氧化。

供试土壤为黄泥头,由金山县金卫公社八二大队和永久大队采集;青紫泥取自青浦县城东公社城东大队和松江县古松公社,沟干泥由嘉定县徐行公社徐行和陈介两个大队采集;夹沙泥则取自南汇县泥城公社人民大队。

不同形态的磷素含量结果见表1和表2。

表1和表2结果表明,郊区不同土壤磷的形态以无机磷为主,有机磷相对较少,除青紫泥以外,黄泥头、沟干泥和夹沙泥的无机磷含量都在90%以上,青紫泥较其他土壤有机磷的积累相对高一点(可能由于地下水水位高,土壤长期处于嫌气状况所致)。占全磷的20%左右。

在无机磷中,水溶性磷(数据未列入表内)含量极低,各种土壤都只有痕量到极低,这和 M、L、Jackson 和一些单位的分析结果是一致的。

磷酸铝和磷酸铁的量,从分析结果看是比较低的。磷酸铝的含量更低一些,仅占全磷量的3.7—8.9%,平均5.2%。铁铝两级形态磷的总量以黄泥头最高,占14.1%,青紫泥不到10%。磷酸铁和磷酸铝在南方酸性土壤中是磷素形态的主要组成部分。上海郊区的土壤pH一般是中性或偏碱,土壤中游离的铁离子和铝离子较酸性土壤相对减少,这可能是这两级形态磷含量少的主要原因。

磷酸钙是郊区土壤中值得注意的一种形态。从分析结果可以看出,它占了上海郊区土壤全磷量的50%以上,占无机磷(包括闭蓄形态磷在内)60%左右,是郊区土壤中磷素的主要形态,它和土壤全磷有一定的关系($\gamma = 0.66^*$)。从表1还可看出,夹沙泥中磷酸钙的

* 参加此项工作的有梅守荣、陈亦芬同志

(1) 浙江农业大学土壤教研组,1975;土壤中无机磷分组系统测定(资料)。