

关于硝化和反硝化过程

II. 反硝化过程的条件和化学脱氮问题

陈 家 坊

(中国科学院南京土壤研究所)

关于硝化和反硝化过程文献综述的第 I 部分简单地介绍了研究方法上存在的一些问题,以及硝化过程的条件。本文作为第 II 部分,将对反硝化过程的条件和化学脱氮问题作一初步介绍。

一、反硝化过程的条件

反硝化过程是一个嫌气性的生物学过程,其特征是形成气态的硝酸盐还原产物。因此,反硝化作用直接引起了植物有效性氮在土壤中的损失。近20多年来,关于硝酸盐在土壤中反硝化过程的研究,大体上可分为两方面。一方面看来工作较多的是研究反硝化过程所需的嫌气条件、pH、能源和温度等。这方面比较系统的研究可以Bremner和Shaw^[10,11]以及Nomnik^[27]的工作为代表。

Bremner工作的研究方法特点是渍水薄层培育。作者注意到供试样本中有机质含量低时,并不发生反硝化的氮素损失,但一经加上能源物质,反硝化的氮素损失就很可观。因此,作者在研究其他条件对反硝过程的影响时,在加入硝酸盐的同时都附加最适于反硝化过程的能源物质。这样做的好处是,可以避免因能源不足而掩盖其他条件对反硝化过程的影响。工作中除少数试验应用 N^{15} 外,多数是分析培育后土壤中的 NO_3^- -N、 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N和土壤全氮^[10]。Nomnik工作中采用厚层培育,利用 N^{15} 测定逸出的气体组成和数量,及其形成规律和条件,也部分涉及某些产物形成的机制问题^[27]。

另一方面的工作,可以概括为研究反硝化过程中引起氮素损失的化学机制,以及所谓“好气性的反硝化过程”。关于这方面的问题,将在下面一节予以介绍。

在自然的或田间的情况下,土壤从好气性转为嫌气性,或相反,看来都是过渡的。例如水稻土灌水植稻时,从整个土壤来看,首先仍继续进行好气性过程,而后才逐渐过渡到嫌气过程。而整个土体的各部位这一过渡快慢不同。因此企图研究或讨论反硝化过程的条件,比如水分含量的极限问题^[27, 49],看来是颇为困难的,其他如氧的临界浓度亦是如此。不过,从反硝化的速率来看,那么还是有一个突变点的。据Nomnik的研究,当氧分压为110—180毫米汞柱时,土壤含水量从田间持水量的60%增至80%、90%和100%情况下,培育十天后,除60%时没有发现氮素损失外,其他三个水分含量的氮素损失依次为10%、57%和97%^[27]。平均每天损失为1%、5.7%和9.7%,表明含水量为田间持水量的70%时即可

发生反硝化过程，但是反硝化速率却在含水量为80%才开始骤增，水分达田间持水量时反硝化速率到最高值。如以加入一定量的硝酸盐达到完全反硝化为止所需时间作为反硝化速率的指标，则含水量为田间持水量的110%时所需时间最短，也就是说这一水分含量的反硝化速率最高^[34]。其他一些研究结果也与此相似^[11, 37, 38, 39]。

土壤含水量低于饱和状态时，反硝化过程的速率与氧分压直接相关^[13]。例如土壤含水量为田间持水量的90%时，氧分压 < 2 毫米汞柱，加入的硝酸盐在培育的第二天就逸失76%，逸出气体中 N_2O 占59%（克分子百分数），第四天氮损失就达96%，此时逸出气体几乎全为分子态氮。当氧分压100—170毫米汞柱时，反硝化速率就大为下降，第二天仅为10%，第四天也只29%，而且逸出气体100%为 N_2O 。至培育的第八天以后，损失仍 $< 50%$ ， N_2O 还占70%^[27]。Cady也曾指出，当还有游离氧存在时，反硝化过程的产物 N_2O 并不再进一步被还原为分子态氮，但氧气一经用完，加入的 $N^{15}O_3^-$ 中的 N^{15} 就有89%变成分子态氮^[16]。其他一些结果也与此相似^[41, 47]。这些结果说明氧分压稍高时，空气中的氧就优先于 N_2O 中的氧而被用作为氢接受体。或者可以认为反硝化过程的土壤条件，并不需要土壤空气中的低氧浓度^[12]。同时，空气中氧浓度增加氮素损失就减少这一事实，也有人用来证明反硝化过程中的微生物主要利用空气中的氧而不是硝酸盐中的氧^[16]。

土壤在渍水情况下，就有所不同了。据Bremner等人的试验，如同一土壤分别在空气、氧气、氮气以及真空中渍水培育八天，加入硝态氮的损失率依次为：81%、28%、79.2%和80.0%^[11]。说明空气中氧进入有水层覆盖的土壤中是较困难的。应当指出，该试验是在开氏瓶中进行，没有水分下渗现象，这与自然情况下是大不相同的。例如种植水稻时，由于由水稻叶孔输入根系、或随水分下渗而带入的溶解氧^[2, 4]，都影响到土壤不能造成完全的嫌气条件^[3]。

pH值强烈影响到反硝化过程的速率及其气态产物的组成。据研究，反硝化速率在 $pH < 5$ 时是很低的，随着pH的增高反硝化速率也增大，认为最适宜的pH值为7—8^[27]。酸性环境或强碱性环境（ $pH > 10.5$ ），将大大地抑制反硝化作用，或完全停止反硝化^[27, 28]。土壤酸度较低时逸出气态产物以 N_2O 为主^[27, 52]，而pH值较高时还可以有NO的形成^[52]。

土壤在渍水情况下，化学上的特点是有机物质嫌气性分解产物的出现；物理化学上的特点是pH值增高，氧化还原电位降低^[1, 2]。因此，在一定条件下氧化还原电位可作为较综合性的指标，以示嫌气程度。据Patrick研究结果，硝态氮的下降速率与土壤体系的氧化还原电位呈下列公式的关系^[53]。

$$Y = a + bx + cx^2$$

式中：Y = 反应速率（实为 NO_3^- 因反硝化而产生的下降速率），

以 $\frac{d[NO_3^- - N]}{dt}$ ……每天ppm数表示；

x = 土壤体系的氧化还原电位；a, b, c为常数，在本试验条件下 $a = -11.59$ ，

$b = 0.041$ ， $c = -1.98 \times 10^{-5}$ 。

设 $Y = 0$ ，则 $X = 338$ 毫伏。

因此，作者认为氧化还原电位在338毫伏以上时，土壤中硝态氮是稳定的^[53]。

下面谈谈温度对反硝化过程的影响。在土壤水分含量相当于田间持水量，氧分压为80—170毫米汞柱时， $< 3^\circ C$ 培育八天没有发现反硝化现象，此后反硝化速率即随温度而

上升,至75°C又下降^[27]。土壤淹水情况下,<2°C时,九天内没有发现反硝化现象,但培育时间延至30天,即有20%的氮素因反硝化而损失,10°—60°C间,培育九天后,氮损失量为73—89%,延至30天即为80—92%^[11]。说明温度对反硝化的影响是很大的。不过,温度大于35°C时,实际意义就少了。逸出气态氮中N₂O浓度,在<37°C时随温度下降而上升,>37°C则基本上不形成N₂O^[27]。

反硝化过程虽是由微生物引起的,但微生物仅仅从这过程中取得能量。因此,缺少能源,微生物没有食物,即使是嫌气条件也不能引起反硝化作用^[10,16,27]。热带某些耕作土壤中,由于C/N率低,几乎没有发现反硝化作用^[26]。Bremner等报告指出,有4个土壤样品,其有机碳含量为9.8—1.13%,C/N分别为9.0,9.1,9.4和11.4,pH值依次为8.2,7.2,7.9和5.8。在不加能源时,渍水条件下的氮素损失率等于零。但加入能源(葡萄糖,为土重的0.25%)时,氮素损失率分别为80%,76%,69%,67%^[10],类似的结果亦不少^[13,27,33,36,41]。有人也从这一角度来解释接近地下水位的土壤环境或脱碱化土的B层之所以具有较高的反硝化活力^[38,40]。但是加入新鲜有机质却可减少氮素的损失^[17,54]。这与Bremner的报告所指出的结果是完全相反的。在Bremner的报告中,应用同样的有机质(均为麦秆)却促进了反硝化过程,如预先用水淋洗以去其易氧化部分,则“促进”作用大为降低^[11]。

Broadbent曾从热力学观点研究了反硝化过程,认为要把硝态氮还原为分子氮,需要从另一来源中取得能量(以 ΔF 表示)。在(N O_3^-) = 10⁻⁴M, pO₂ + pN₂ = 1.0的试验条件下, ΔF 与pO₂呈正相关。pO₂从0.1到0.4, ΔF 值从7400克卡增至8300克卡(根据曲线估算),仅相当于1克分子碳水化合物氧化时释放出来的能量(115千克卡)的 $\frac{1}{16} - \frac{1}{14}$ 。因此,加入能源物质将使反硝化过程加剧^[12]。他自己的实验证实了这一点。

此外,有人根据剖面各层土壤中NO₃/Cl比率的变化,研究了反硝化过程与季节和剖面深度的关系,结果表明,各层的比率从秋季到来年春季均下降,作者认为这是反硝化过程大于淋洗过程所造成的。其次自表层至45—71厘米层次时NO₃/Cl的比率突然下降,表明反硝化过程在此层中发生。至96—122厘米层次时,比率又上升,表明反硝化过程是发生在这一层次以上的土层中^[32]。

总之,就所援引的资料看来,影响反硝化过程的土壤条件,仅限于嫌气程度、温度、pH和能源等。就目前认识来看,人们普遍接受关于反硝化过程的实质,即硝酸盐中的氧代替了空气中氧,作为酶催化下脱氢过程的电子接受体。因此,这与渍水条件下土壤中高价铁被还原实质上是一样的。这样,反硝化过程就不能不与土壤中氧化铁的转化相联系。据研究,在渍水条件下,NO₃⁻-N浓度超过千万分之二时,即可抑制低铁的形成^[25,45]。因为铁氧化还原标准电位较低,硝酸盐中氧就优先于高价氧化铁中的氧成为反硝化过程的氢接受体。因此,硝酸盐存在的数量与低铁形成量呈反相关^[45]。1972年我们应用厚层培育法研究反硝化强度时,12个标本中除1个例外,也发现脱氮率与低铁量呈反相关的迹象。

二、硝化和反硝化过程的化学脱氮问题

19世纪末,在发现土壤中反硝化并引起了人们的巨大注意的同时,也有人提出另一种论点,即认为增施有机肥料在土壤通气良好的条件下,硝酸盐中的氮素几乎不会遭受损失。1927年Waksman在他们关于反硝化研究的综述性论文中,又进一步肯定了这一论

点*。因此,对于通气情况良好的土壤中反硝化作用是否成为一个具有实际意义的问题,进行了广泛的研究。由于受到Waksman论断的影响,不少人认为好气情况下,土壤中矿质氮素的损失是由于雨水淋失所致。但是一些力图说明这一论点而进行的长期排水收集器的实验报告指出,在土壤氮素平衡的亏损中,仅有部分可以算作为淋失,从而承认亏损中另一部分可能因为反硝化作用而损失**。另一方面,即使在土壤通气良好有机质含量中等的情况下,氮素因反硝化的损失也可达土重的0.025%^[12]。被植物所吸收和残留在土壤中的化学肥料氮素,不超过施入量的40—50%^[35]。其他一些报告也指出在好气条件下氮素以气态损失的事实。^[16,22,27]当然,也有人持不同的看法,但也是首先承认好气条件下存在反硝化过程,只不过极为微小而已^[11,18]。

上述所谓好气条件下的反硝化作用,或在一些文献上称之为“好气性反硝化过程”^[16],实际上包含两个问题:(1)硝化和反硝化过程是否可以同时在土壤中并存;(2)硝化过程中是否也有氮素以气态损失的问题。

关于第一个问题比较容易理解。众所周知,除极个别情况外,土壤中各种单粒都呈不同质量和大小的团聚体状态存在,在水分不是过饱和或湿润情况下,团聚体的表面是好气性的,其内部却呈不同程度的嫌气性。Nomnik曾研究了团聚体的大小对反硝化过程的影响,其试验条件是水分为田间持水量,氧分压为100—180毫米汞柱,培育八天。实验结果指出,氮素损失率按团体大小(>4毫米,2—4毫米,0.5—2毫米和<0.3毫米)的次序,依次为:61.3%,31.5%,40.1%和94.0%^[27]。其次,从土壤剖面性来看,上层通气性较好,下层就较差。因此上层铵态氮因硝化作用形成硝酸盐,又随水分下渗移入下层,结果在下层因反硝化而损失了^[37]。因此,可以认为不仅在渍水土壤中,而且在土壤通气性良好的耕作土壤中,反硝化过程也是存在的,“好气性反硝化过程”发生在土体中局部呈嫌气条件的微域部位,就其实质而言仍是嫌气性的。

关于第二个问题,硝化过程中是否也有氮素以气态损失的可能,也就是有无化学脱氮过程的存在。这与反硝化过程中是否也存在化学脱氮的问题是一样的。

先举一个盆栽试验为例,在酸性砂质土壤中加入硫酸铵,氮素损失量>74%。这并不是以 NH_3 形态挥发了,不仅因为酸性环境下不可能形成 NH_3 ,而且当试验中加入足够的碳酸钙使土壤pH保持在5.5以上时,这一损失就停止了。另一方面,这也不是反硝化的损失,因为用硝酸盐代替硫酸铵时就没有发生这一损失。这只能认为是化学过程所引起的氮素损失^[24]。目前关于化学脱氮问题,除少数人持不同看法或完全否定^[31]或认为没有任何重要意义^[15]之外,可以说基本上是肯定的,但是通过什么途径却是有分歧的。

所谓化学脱氮过程,就是指铵态氮(反应物)硝化和硝态氮(反应物)反硝化过程所形成的中间产物,或由于它们的化学不稳定性,或由于它们之间或它们与反应物之间的化学作用,或由于某些中间产物与土壤中参与氧化还原过程的某些化合物之间的化学作用等等,而导致的氮素气态损失。

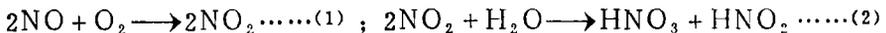
因此这里首先要了解铵态氮肥和硝态氮肥施入土壤以后,有那些非气态产物。铵态氮在硝化过程中的产物是以 NO_3^- 和 NO_2^- 为主,有时也有硝化过程第一阶段的中间产物羟氨基,不过数量不多^[10,23]。这样,就构成了 NH_4-N , NO_2-N , NO_3-N 之间的关

*引自参考文献[10]。**引自参考文献[27]。

系,以及这一关系又受到了土壤的吸附特性(如对 NH_4^+)、pH 以及土壤氧化还原过程等影响。这是第一种情况。其次铵态氮肥施入水田以后,却要经历硝化和反硝化过程,但其产物及其所受土壤的影响,基本上与第一种情况相同。至于硝态氮肥(反应物)在渍水土壤中经历反硝化过程除了 NO_2^- 外,是否也可能形成 NH_4^+ 看来也是肯定的,〔11,13,27,52〕只是在条件上有相反的结论而已。Bremner 等在土:液为 1:2.2 的嫌气条件下,在 pH 值分别为 5.8、7.9 和 8.2 的三个土壤中,形成的 NH_4^+ 量占加入氮量的百分数依次为: 19, 2 和 3〔11〕。表明渍水条件下,酸性环境中易形成铵态氮,其数量可达加入量的五分之一。Nomnik 也进行了同样研究,嫌气条件是:土壤水分含量为田间持水量,氧分压 < 2 毫米汞柱,氮分压 760 毫米汞柱。土壤原 pH 值为 5.2,人工调至不同 pH 值,结果是当 pH 值为 5.2—5.7, 6.7—7.1, 8.8—8.9 时,形成的铵态氮占加入硝酸盐氮量的百分数依次为 2, 5 和 9〔27〕。因此,可以认为硝酸盐施入水田中,反硝化过程的非气态的产物也与前述两种情况相似,只是浓度不同而已。这就是我们之所以要把硝化过程与反硝化过程的化学脱氮问题作为一个共同性问题的道理。

上述这些非气态的中间产物中, NO_2 在正常情况下土壤中的含量是很低的,但在大量施用氮肥时,就有可能在土壤中积累,这种积累不仅有害于植物生长、污染水源,而且导致氮素的损失,特别是当有铵离子存在时。

(一)有人曾将加入亚硝酸盐的土壤进行消毒,培育后发现 N_2 和 NO 的逸出,而以硝酸盐代替亚硝酸盐时则无此现象〔14〕。这种由于亚硝酸盐本身化学不稳定性而导致的氮素损失,有较多的文献作了报道〔9, 27, 30, 43, 44, 48, 50〕。这一过程受土壤 pH 的影响至为明显。报告指出,在 pH 4.7—6.6 时,这一途径的损失可占原有亚硝酸盐数量的一半多, pH 6.7—7.2 时也达 36%,只有 pH > 7.3 时,才几乎不损失〔22〕。R. W. Jones 等也获得了相似的结果。在三个 pH 不同的供试土壤中,亚硝酸盐的化学不稳定性依 pH 6.2、pH 7.2、pH 8.0 的顺序而递减〔29〕。可以认为因亚硝酸盐的化学不稳定性而引起氮素损失, pH 值是决定性因素〔30〕。对这一过程逸出 NO ,有人持怀疑的看法,认为在好气过程中,除非土壤体系极为干燥, NO 可以气态扩散于大气中,否则所形成的 NO 终究按下列途径回到硝酸盐形态〔16, 44〕。



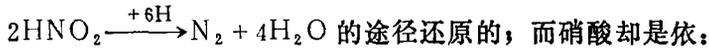
但也有报告指出,可能在完成(1)式反应后,就扩散到大气中而导致氮素损失〔43〕。其次,亚硝酸盐也可以被有机质还原而以 N_2 逸失〔43, 46〕。关于亚硝酸盐受有机质影响转化为 N_2 而损失的可能性, Clark 曾进行了较为细微的模拟试验。供试土壤为粉砂粘壤土,有机质含量为 3.86%;另一供试材料为经酸洗过的细石英砂。试验时水分含量为 50%, 75°C,培育一小时,氮素损失量(占加入量的%)如下〔21〕:

土:砂	pH 4.5	pH 5.5	pH 6.5
1:0	78	26	21
4:1	79	22	15
1:1	75	14	11
1:4	50	6	4
0:1	29	0	0

培育温度如为 28°C 时,有机质的影响更为显著。如将土壤有机质用 30% H_2O_2 予以去

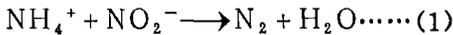
除,则 pH 4.5 和 5.5 时,氮素损失量各为 27% 和 6%,与用相应 pH 值的石英砂所得之结果相近^[21]。此外,在酸性介质中,土壤矿物并不能促使亚硝酸的分解,而另外一些阳离子如 Cu^{++} 、 Sn^{++} 等却能促使它的分解,不过通常情况下这些阳离子的数量还达不到这一水平^[42]。低价铁也具同样作用^[19, 42],如溶液中高铁浓度达 30ppm, pH 为 5.0 时,就可以有 69% 的亚硝酸盐被还原而遭损失。虽然,酸性情况下也可以引起亚硝酸盐的自身分解,但其数量可以忽略^[19]。同一报告指出,在酸性溶液中 NO_3^- 可被低价铁还原为 N_2 ,其中间产物及历程与反硝化过程很为相似。在碱性溶液中高铁可以把亚硝酸盐还原为 N_2 ^[19]。一般情况下,水稻土在渍水条件下,水溶性高铁达 30ppm 的浓度也是很有可能的^[1, 2]。因此,低价铁在水稻土中矿质态氮转化过程中的影响,看来并不是可以忽略不计的。

此外,上面已指出,亚硝酸盐是铵硝化过程和硝酸盐反硝化过程的中间产物,它总是与硝酸盐相伴的。研究证明,在嫌气条件下,当有相同量的硝态氮和亚硝态氮并存时,亚硝态氮优先于硝态氮被还原为分子态氮;并指出,在培育过程的头两天, NO_2^- 被还原比 NO_3^- 多得多,其分子比为 3:1,第四天即为 2:1,至第六天, NO_2^- 全部被还原了,而 NO_3^- 仅被还原一半左右。所以如此,作者认为亚硝酸是依:



$2\text{HNO}_3 \xrightarrow{+10\text{H}} \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ 的途径还原的。因此 NO_2^- 先于 NO_3^- 提供了氢接受体^[27]。

(二)硝化和反硝化过程中,由于 NH_4^+ 与 NO_2^- 的同时存在,将导致氮素的损失,特别是在施用铵态氮肥时,更为如此。其化学脱氮过程,认为是依下述两个途径而引起氮素损失的,其中又以途径 (1) 为主^[5, 6, 7, 24, 30, 46, 48, 50, 51]。



Bremner 等曾指出,在嫌气条件下培育 10—30 天,氮源为硝酸铵时,比其他四种硝酸盐为氮源的氮素损失要高出 18—20%^[11]。看来是经 (1) 式反应而造成的,并非如他本人所解释是由于 NH_4^+ 被硝化再被反硝化而引起的。因为供试土壤仅为 5 克,在有 80% 以上的硝态氮可被还原的条件下,设想可以进行 NH_4^+ 的硝化过程是难以理解的。这两个反应式,被称为 Van Slyke 反应,土壤的低 pH 值是其重要条件^[5, 7, 24, 46, 50]。此外,这一反应还受光的影响。当 NH_4^+ 与 NO_2^- 的氮量为 1:1 时,曝光下的氮素因“光反硝化作用”,其损失量比遮光情况下多 23.4%,且与 pH 值呈正相关;试验中加入土壤,这个“作用”比不加土的几乎高达 3.5 倍^[51]。当然在田间情况下,除田面土壤会受到光照外,土表 1 厘米以下的土壤中,很难设想有光照的存在。因此,这个“作用”的实际意义是小的。

综上所述,在硝化和反硝化过程中化学脱氮过程有以下三个途径^[6]:

1. 由于亚硝酸盐本身化学不稳定性而引起的,在酸性土壤中甚为重要;
2. 由于 NH_4^+ 与 NO_2^- 相互反应而引起的,这是氮以气态损失的主要的化学原因;
3. 由于 NO_2^- 与 RNH_2 相互作用而引起的,其实质与 (2) 相似。但 RNH_2 既为量不多,且易受土壤中的高价铁锰等氧化而损失^[10, 19],因此,这一途径即使重要也是少有的^[6]。

结 束 语

我们认为氮肥特别是铵态氮肥在旱地和水田中施用时,如何防止硝化和反硝化作用所引起的氮素损失,是十分重要的也是目前还不是很清楚的问题。如将硝化和反硝化作用作为生物学过程,那么在这种过程中微生物的生态环境仅限于嫌气条件和能源吗?如认为矿质氮的转化是生物活动所引起的化学运动,那么与土壤中其他物质的关系又是如何?人们的施肥、水浆管理等技术措施对土壤性质的影响是明显的,那么是否又会对硝化和反硝化过程产生影响呢?后面两个问题现已引起人们的注意,比方有人尝试从理论上推导氮肥施入土壤中以后的转化和迁移的情况^[20],也有人研究肥料颗粒大小对硝化过程的影响^[8]等等。所有对这些问题的研究,其目的都是为了更有效地提高氮肥利用率。

参 考 文 献

- [1] 农业丰产研究丛书,第三集,水稻丰产的土壤环境,160—166页,1961年。
- [2] 于天仁、刘志光,土壤学报,12,380—389,1964。
- [3] 陈华癸、周启,土壤学报,9,56—63,1961。
- [4] 杨国治、陈家坊,土壤学报,9,65—71,1961。
- [5] Allison, F. E. et al., Soil Sci., 74, 311—314, 1952。
- [6] Allison, F. E., Soil Sci., 96, 404, 1963。
- [7] Allison, F. E., Advanc. Agron., 18, 219—258, cf. Soils & Fert., 30, [1267], 1966。
- [8] Bezdicsek, D. F. et al., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 33, 997—1002, 1971。
- [9] Brandt, G. H. et al., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28, 71—75, 1964。
- [10] Bremner, J. M., Shaw, K., J. Agric. Sci., 51, 22—39, 1958。
- [11] Bremner, J. M. Shaw, K., J. Agric. Sci., 51, 40—52, 1958。
- [12] Broadbent, F. E., Soil Sci., 72, 129—137, 1951。
- [13] Broadbent, F. E. & Stojanovic, B. J., Soil Soc. Soc. Amer. Proc., 16, 359—363, 1952。
- [14] Bulla, L. A. et al., cf. Soils & Fert., 31, [3335], 1968。
- [15] Cady, F. B., Bartholomew, W. V., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 24, 477—482, 1960。
- [16] Cady, F. B., Bartholomew, W. V., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 25, 362—365, 1961。
- [17] Carter, J. N., Allison, F. E., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 25, 484—486, 1961。
- [18] Carter, J. N., Allison, F. E., Soil Sci., 90, 173—177, 1970。
- [19] Chao, T. T., Kroontije, W., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 30, 193—196, 1966。
- [20] Cho, C. M., Canad. J. Soil Sci., 51, 339—350, 1969。
- [21] Clark, F. E. et al., 7th Int. Congr. Soil Sci., II, 501, 1960。
- [22] Clark, F. E. et al., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 24, 50—54, 1960。
- [23] Gasser, J. K. R., Soils & Fert., 33, 547—554, 1970。
- [24] Gerretsen, F. C. et al., Canad. J. Microbiol., 3, 359—380, 1957。
- [25] Grass, L. B. et al., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 37, 17—21, 1973。
- [26] Greenwood, D. J., J. Agric. Sci., 58, 227—233, 1952。
- [27] Hans Nommik, Acta Agric. Scand., 6, 195—228, 1956。
- [28] Jansoon, S. L., Clark, F. E., Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 16, 330—334, 1952。
- [29] Jone, R. W., Hedlin, R. A., Canad. J. Soil Sci., 50, 331—338, 1970。
- [30] Jone, R. W., Hedlin, R. A., Canad. J. Soil Sci., 50, 339—345, 1970。
- [31] Jones, E. J., Soil Sci., 71, 193—196, 1951。

- [32] Kimble, J. M. et al., *J. Environ. Qual.*, 1, 413—415, cf. *Chem. Abstr.*, 78, [96500], 1972.
- [33] Macgregor, A. N., *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36, 594—596, 1972.
- [34] Mahendrappe, M. K., Smith, R. L., *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 31, 212—215, 1967.
- [35] Mann, H. H. et al., *J. Agric. Sci.*, 41, 309—314, 1951.
- [36] McGarity, I. W., *Plant & Soil*, 14, 1—21, 1961.
- [37] Meek, B. D. et al., *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33, 575—578, 1969.
- [38] Meek, B. D. et al., *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34, 235—239, 1970.
- [39] Morrill, L. G. et al., *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 31, 357—360, 1967.
- [40] Myers, R. J. K., McGarity, J. W., *Plant & Soil*, 35, 145—160, 1971.
- [41] Myers, R. J. K., McGarity, J. W., *Plant & Soil*, 37, 81—89, 1972.
- [42] Nelson, D. W., Bremner, J. M., cf. *Soils & Fert.*, 33, [3411], 1970.
- [43] Nelson, D. W., Bremner, J. M., cf. *Soils & Fert.*, 34, [996], 1970.
- [44] Reuss, J. O., Smith, R. L., *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 29, 267—270, 1965.
- [45] Satoru Motomura, *Soil Sci & Plant Nutr.*, 8, 177—185, 1962.
- [46] Smith, D. H., Clark, F. E., *Soil Sci.*, 90, 86—92, 1960.
- [47] Stefanson, R. C., *Plant & Soil*, 37, 129—140, 1972.
- [48] Tyler, K. B., Broadbent, F. E., *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 24, 279—284, 1960.
- [49] Van Schreben, D. A., *Plant & Soil*, 18, 163—175, 1963.
- [50] Wahhab, A., Uddin, F., *Soil Sci.*, 78, 119—126, 1954.
- [51] Wahhab, A., Uddin, F., *Soil Sci.*, 80, 121—125, 1955.
- [52] Wijler, J., Delwiche, C. C., *Plant & Soil*, 5, 155—169, 1954.
- [53] Wm. H. Patrick, JR., 7th Int. Congr. Soil Sci., II, 494—500, 1960.
- [54] Wójcik—Wojtrowiak, D. et al., cf. *Soils & Fert.*, 35, [4642], 1971.

简 讯

宁夏土壤勘查工作简讯

宁 综 土

宁夏回族自治区位处祖国西北边疆，土地资源丰富。遵照伟大领袖毛主席“备战、备荒、为人民”的伟大教导，为了查清当地的土地资源，提出合理利用土地和改良土壤的措施，以促进社会主义农、林、牧业的全面发展，宁夏回族自治区农业局综合勘查队正分期开展宁夏土壤勘查工作。目前已完成土壤详查的地区有银川平原（银川平原土壤详查系在中国科学院土壤队及水利部土壤调查总队青铜峡灌区土壤调查的基础上补充完成的）及卫宁平原（即中卫中宁平原）。已完成土壤概查的地区有银南地区盐池县，固原地区固原、海源、西吉、隆德及泾源县，以及阿拉善左旗的部分地区。其余地区的土壤踏勘也已完成。

宁夏农林局综合勘查队的土壤专业人员较少，为了完成繁重的勘查任务，他们在各级党组织的大力支持下，与各兄弟单位协作，并与当地的农业技术人员和贫下中农相结合，发挥了革命干劲，取得了很大的成绩，顺利地完成了勘查任务，深受当地领导和群众的重视和欢迎。

宁夏土壤勘查资料，除《银川平原土壤》已由宁夏回族自治区人民出版社出版外，其余正由宁夏农林局综合勘查队分期编印。