测定稻田土壤氮素矿化过程的淹水密闭培养法的条件试验*

蔡贵信　张绍林　朱兆良

（中国科学院南京土壤研究所）

关于土壤氮素矿化过程的测定目前有两种方法，即Stanford[7]等的好气培养-间歇淋洗方法和淹水密闭培养法[4—6]。前者适用于旱作土壤，后者适用于稻田土壤。淹水密闭培养法在具体应用时，尚有一些试验条件不够明确，如密闭方式，适宜的培养温度范围，采用风干土时应预培多长时间，风干土土块细度对矿化过程的影响等。为此，我们于1978年进行该法的条件试验，所得结果如下。

一、密闭方式试验

以往的淹水培养都是在试管口敞开的条件下进行的，在培养过程中由于氧化层和还原层的分异，从而引起了矿化所形成的NH_4-N的大量反硝化损失。密闭培养的目的，即在于防止这种损失，从而可以进行较长时间的培养，以测定出氮素矿化过程的曲线。因此，原则上只要能防止空气进入培养管的任何密闭方式都是可以采用的。当然，最简便的方法是试管口用橡皮塞塞紧的方式[6]。但是，我们发现，采用这种方式时，管口常有锈色沉淀产生，这是否会影响到测定结果，则是首先需要明确的问题。为此，我们进行了密闭方式的比较试验。试验方法是：称取10克通过20目筛的风干土，于18×100毫米的试管中，用吸管加入10毫升蒸馏水，尽量驱出土中的空气，在室温下培养。密闭方式分为四种：1．淹水开口培养（盖沙布）；2．淹水密闭培养，管口用橡皮塞塞紧；3．加水至满管，管口塞一带有小玻管的橡皮塞，小玻管上接一乳胶管，内装一玻璃珠，以备排气之用，试管与橡皮塞密接处封以石蜡；4．将试管淹水后敞口置于充氩气的干燥器中培养。干燥器内放有焦性没食子酸溶液以吸收可能残存的氧气。

试验的1，2，3三个处理，从1978年5月22日起至8月28日止，第4个处理从1978年5月24日起至8月30日止，共培养98天。每天记录最高、最低室温，取平均值作为日均温。在培养期间，日均温变动于21.3—35.0℃范围内。一般每隔两周测定一次NH_4-N，每次测定随机抽样，四个重复。用2N KCl溶液提取，蒸馏，测定NH_4-N。供试土壤为江苏省无锡县的黄泥土和竖头黄泥土，其基本性质见前报[2]。

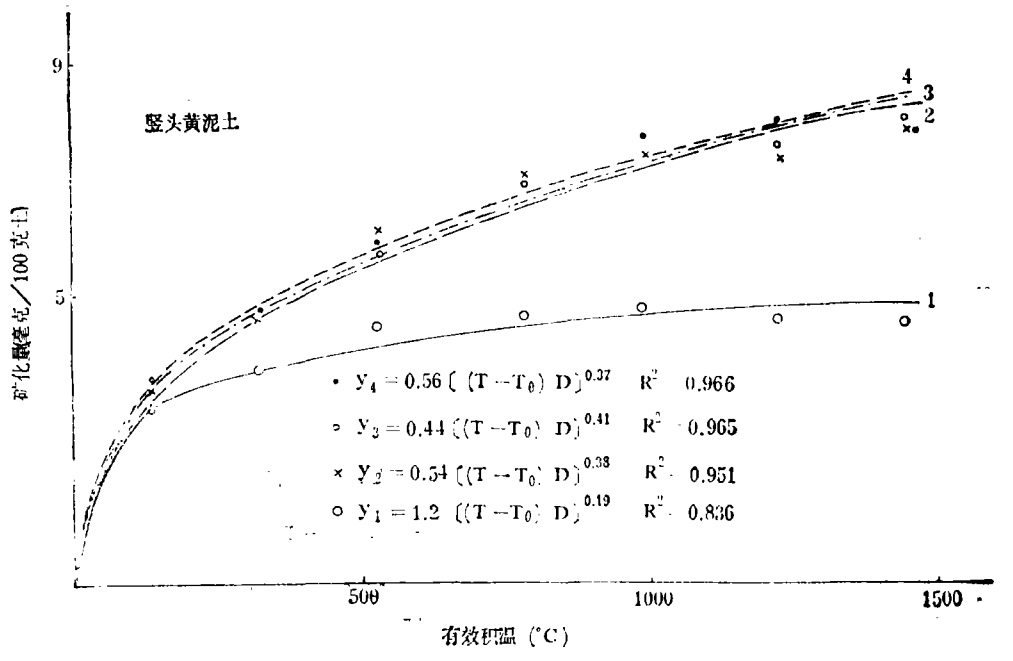
试验结果：将矿化氮量与有效积温代入$Y=N[(T-T_0)D]^n$经验式[4,5,6]中，可得出各处理中氮素矿化过程的回归方程式，并求出R^2值，以检验测得值对经验公式的符合程度（图1）。从图1可看出，处理1（开口培养）的氮素矿化量明显低于其他处理，这显然是氮素反硝化损失的结果。从2、3、4处理的矿化曲线来看，两种土壤都没有明显差异，只是黄泥土处理4的矿化量，在有效积温超过1000℃以后有偏低的现象。从这些结果来看，采用管口塞橡皮塞的密闭方式是可以达到密闭培养的要求的。因此，在下面的各项试验中，我们都采取这种密闭方式。

二、适宜的培养温度范围

从$Y=K[(T-T_0)D]^n$经验公式来看，在不同温度下培养求得的矿化曲线，按有效积温计算时应相互重合。出井、鬼鞍等认为[4,5]，适宜的培养温度是30℃。我们设想，如果在35℃培养也能得到正确的结果，那么不仅可以缩短培养时间，而且还可以在夏季进行培养工作。鉴此，我们进行了不同培养温度的对比试验。其方法是：称10克通过20目筛的风干土于试管中，加入10毫升蒸馏水，用橡皮塞塞紧，分别置于25℃，30℃和35℃的保温箱中培养，四个重复，定期测定土壤NH_4-N。供试土壤属爽水性水稻土，其基本性质见前报[3]。

试验结果如图2所示。鳝血黄泥土在三种温度下培养时，矿化曲线基本一致。各条曲线的K值和n值都很接近。僵板黄泥土的矿化曲线，在25℃和30℃两种温度时虽也相当一致，但在35℃培养时，前期矿化量略偏

* 徐银华、曹亚澄同志参加部分工作。



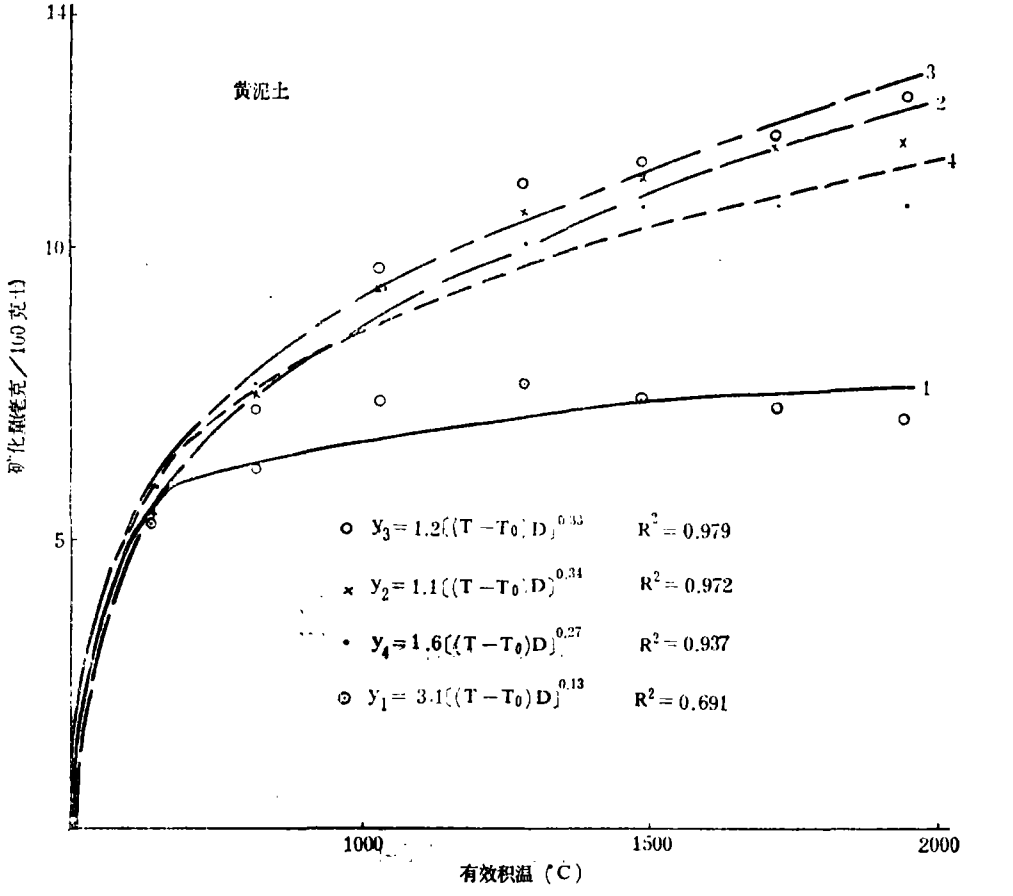
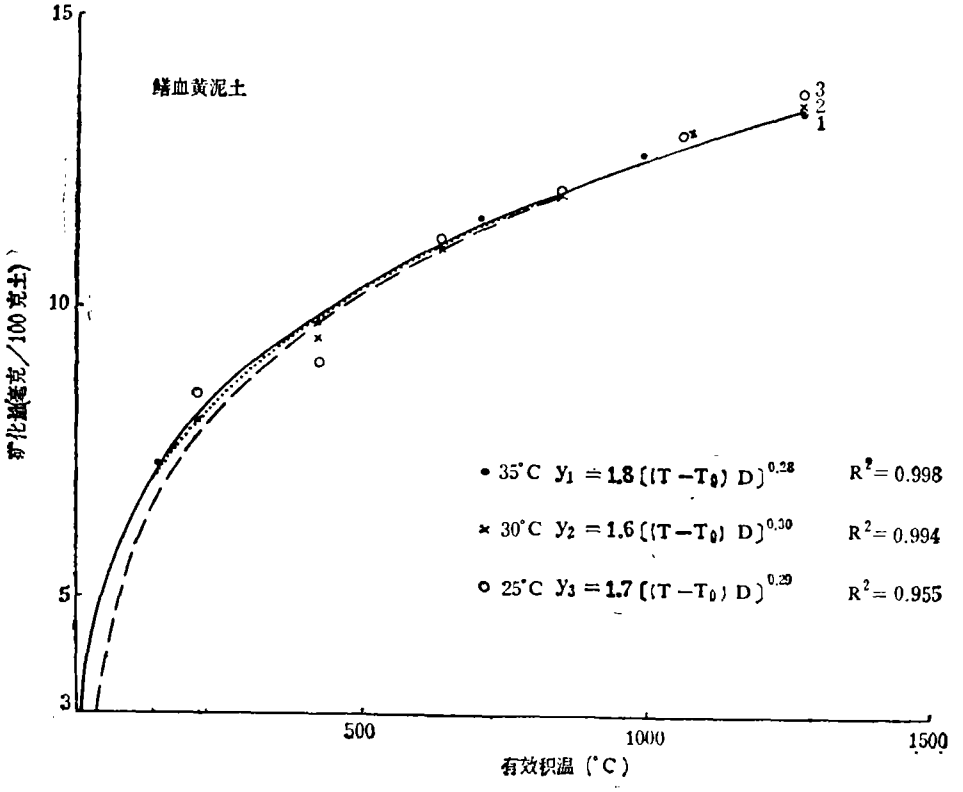


图1　不同密闭方式下氮素的矿化曲线

1、2、3、4分别代表处理1，2，3，4



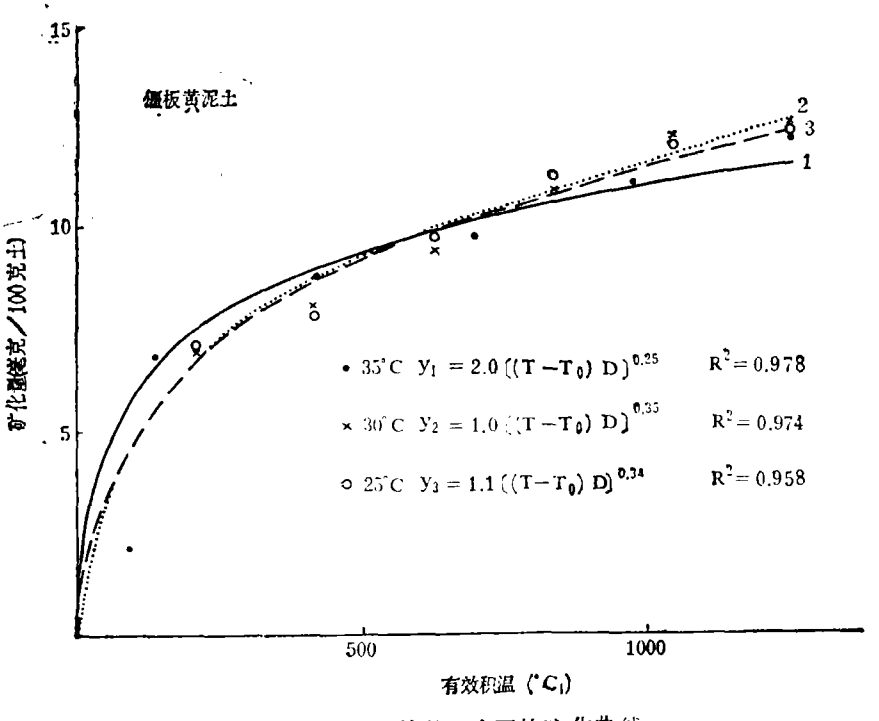


图 2　不同培养温度下的矿化曲线

1、2、3 分别代表处理 1，2，3

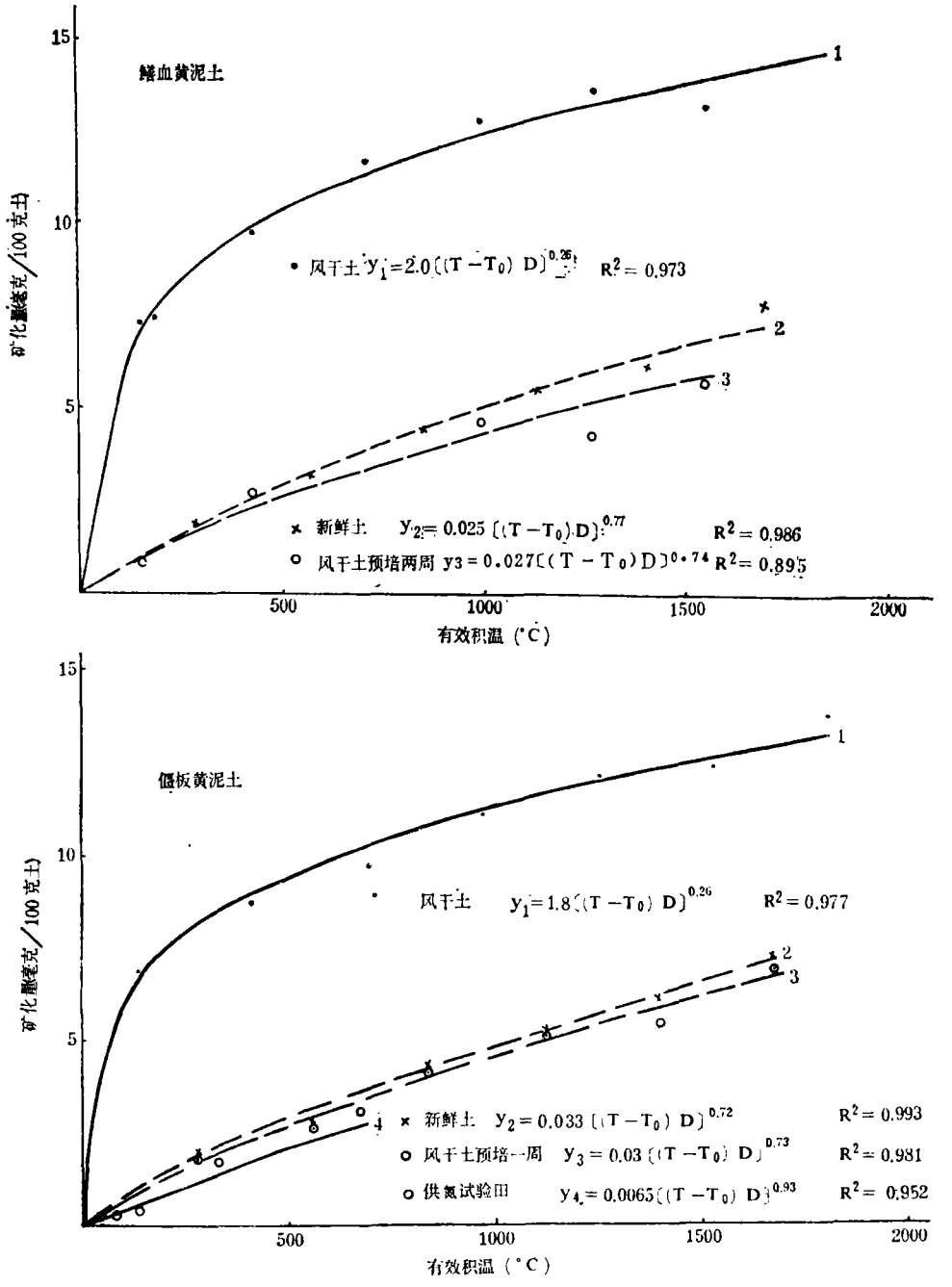


图3　风干土与新鲜土氮素矿化过程的比较

高，后期则略偏低，因而K值增大，n值变小。以上结果说明，在25—30℃范围内培养，矿化量只与有效积温有关，而不受培养温度的影响。在35℃培养时，虽然也符合经验公式，但僵板黄泥土在35℃下的矿化曲线与在25℃和30℃下培养时的矿化曲线相比有些偏离。因此，对成批标本的培养工作来说，仍以采用30℃为宜。

三、风干土与新鲜土的比较

由于干土效应对矿化特性的影响较大。因此，淹水密闭培养法应采用新鲜土[4,5,6]。但在进行土壤矿化特性的研究时，标本数比较多，要求采用新鲜土有一定的困难。因此，如何消除风干土培养时干土效应

的影响，是值得研究的一个问题。鬼鞍等[5]认为，干土效应的影响反映在培养后的28天以内（相当于有效积温420℃）。最近吉野[6]的报告认为，干土效应反映在有效积温为200℃以内的培养期间。Stanford的好气培养法，是采用风干土样品，他们在用短期培养法来估测No值时，强调需要预培1—2周(35℃)，而对含多量碳氮比宽的植物残体的土壤样品来说，则预培时间要更长一些[8]。因此，在用风干土进行培养时，预培的时间似仍有进一步加以试验和确定的必要。供试土壤是爽水性水稻土，分为风干土和新鲜土两个处理。风干土的培养方法同二所述。新鲜土的培养方法是：将新鲜土掰碎成10毫米以下的小土块，混匀后，称取一定量(约折风干土100克）于广口瓶中，另测水分以计算出干土的准确重量。按土水比1：1加入适量蒸馏水，瓶口用橡皮塞塞紧。置于保温箱中培养，由于本试验是在温度试验结束之前进行的，所以采用的培养温度是35℃，以使工作得以在夏季进行。每个处理每次测定四瓶，作为四个重复，NH_4-N的测定方法同一所述。此外，在僵板黄泥土上，还进行了前季稻生长期间氮素矿化过程的田间观测[3]，所得结果也可与密闭培养法的结果作一初步比较。

从图3可看出，风干土的矿化量比新鲜土高得多。经换算和比较，对鳝血黄泥土来说，风干土在扣除预培两周（有效积温280℃）的矿化量后，在继续培养的有效积温不超过1000℃时，与新鲜土的培养结果大致相符。对僵板黄泥土来说，风干土在扣除预培一周(有效积温140℃)的矿化量后，在测定的时间范围内，与新鲜土的培养结果基本相符。看来，用风干土进行培养时，可以采用扣除一定预培时间内的矿化量的方法，以得到与新鲜土相一致的矿化曲线。但是，所需的预培时间却因土而略有差异。而在用风干土进行大批标本的培养试验时，又难以对每个标本确定出一个最适的预培时间。因此，从本实验结果来看，并且结合上述的吉野以及Stanford的工作，以30℃作为培养温度时，采用预培两周(有效积温210℃)似乎是比较恰当的（当然，这仅限于爽水性水稻土，对囊水性水稻土需进一步研究）。在预培后继续培养的时间，以有效积温计可在1000℃左右。但是，对新鲜土来说，培养的时间则可长一些。

在田间试验中，僵板黄泥土无氮区土壤氮素的矿化过程也符合上述经验式（图3），但矿化量比较低。这可能与室内培养中土壤掰得比较细碎有关。

四、风干土土块细度对矿化过程的影响

过去的开口培养试验已表明，土块大小对氮素矿化有一定的影响[1]。因此，在淹水密闭培养下，土块大小对矿化过程的影响如何，是需要加以明确的问题。本项试验的供试土壤是爽水性水稻土。试验方法是首先将风干土块敲碎，筛取5—10毫米的土块作为第一处理。从中分出一部分，磨细通过20目筛，作为第二处理。在35℃下淹水密闭培养。

从图4可看出，土块大小对鳝血黄泥土的矿化过程影响不大。对僵板黄泥土来说，土块大的处理，在培养初期的矿化量略低于土块小的处理。即较大的土块经磨碎后促进了氮素的早期矿化，而且其影响程度还受到土壤结构性的影响。僵板黄泥土的结构性差，土块大者泡水后不易化开，因而矿化比较慢。鳝血黄泥土的结构性比较好，土块大小的影响就很小。但是，总的来看，在用风干土进行培养的情况下，土块大小的影响程度并不大。而在田间条件下，土壤结构性对氮素的矿化却有明显的影响[3]。因此，为了反映田间条件下氮素矿化过程的这种差异，还需在方法上作进一步探索。

五、建议采用方法

1．用新鲜土测定：将新鲜土中的小石块、粗根等挑出弃去，用手掰碎后过10毫米筛，混匀，用1/10天秤称取一定量新鲜土(约折合烘干土25克)于50毫升广口瓶中。同时测水分以计算出烘干土的准确重量。按烘干土与水的比例约1:1.3左右加入适量蒸馏水，瓶口用橡皮塞塞紧，置于30℃保温箱中培养。在培养过程中，约一个月换气一次，以防瓶塞冲出。每次测定三瓶，作为三个重复。在整个培养过程中，若要测定五次，至少需同时培养15瓶。测定时用100毫升2.5N的KCl溶液，将培养瓶中的土壤全部洗入250毫升的广口塑料瓶中（相当于用2NKCl溶液，按土液比1:5提取）。振荡半小时，过滤或沉清，吸出部分清液于半微量定氮仪中，加入一定量10%的MgO悬浊液（其量为吸取的待测液的1/10，例如，吸取待测液25毫升时，需加入2.5毫升），用5毫升2%的硼酸溶液（已加入定氮混合指示剂）吸收，蒸至体积约为35毫升（沸腾后约3—4分钟）。用标准酸滴定。最后计算出每100克烘干土中NH_4-N的毫克数，从中扣除培养前土壤NH_4-N含量，即得矿化量。

2．用风干土测定：将风干土磨细后过20目筛，挑出根，混匀，用1/10天秤称取10克土于18×100毫米的试管中。将试管平放于桌面上小心滚动，使管中土面倾斜，用吸管沿管壁加入10毫升蒸馏水。待加完一批试管后，检查各管中土壤是否全层湿润，并尽量驱出土中的空气，然后用橡皮塞塞紧。置于30℃保温箱中培养。在培养过程中，约每周换气一次，并驱出土中气体

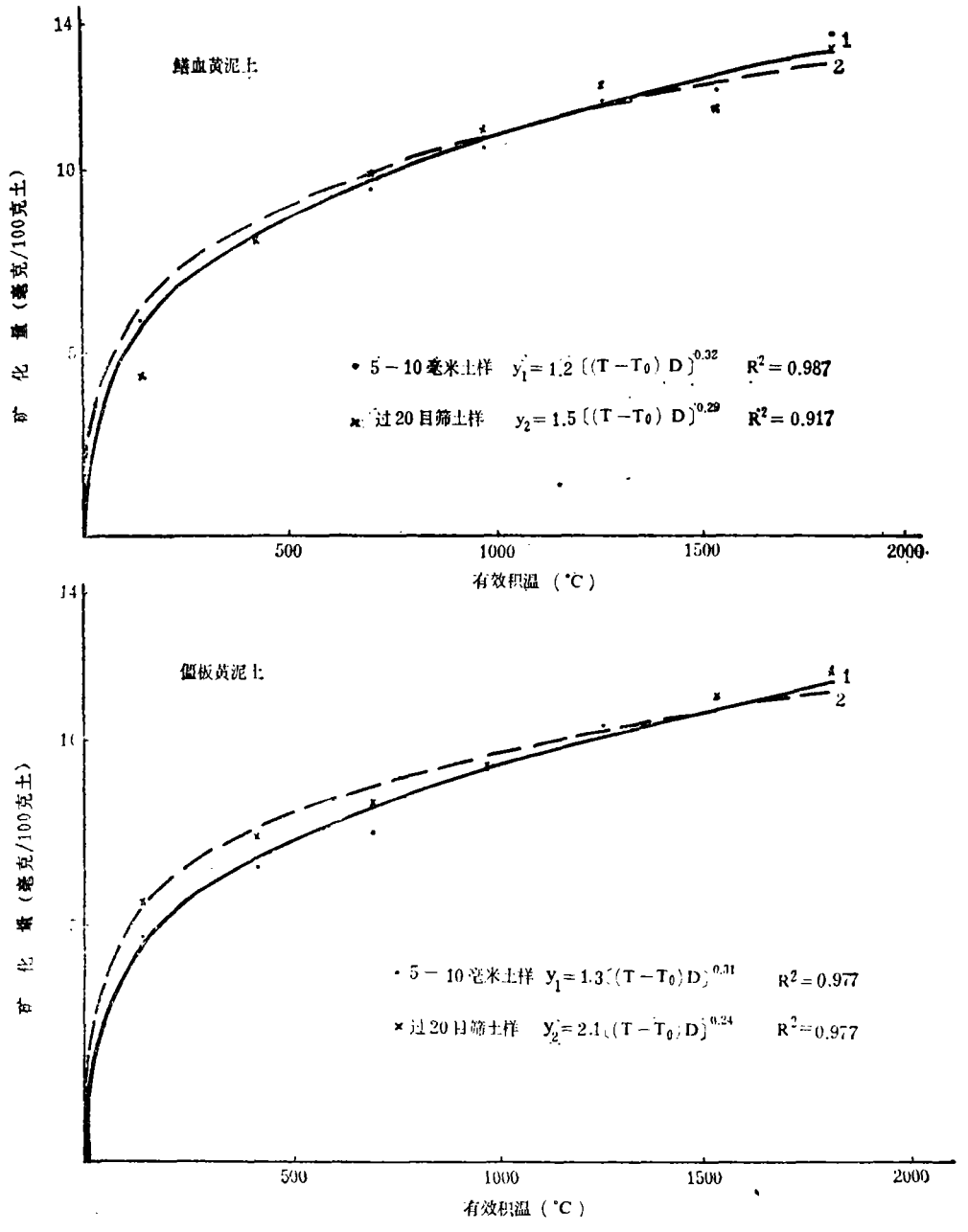


图4 土块细度对氮素矿化过程的影响

（在培养后期换气间隔的时间可长一些）。每次测定两管，作为两个重复。测定时用90毫升2.2*N*KCl溶液，将管中土壤全部洗入250毫升广口塑料瓶中。测定步骤同新鲜土。从测得的土壤NH_4-N量中扣除培养前土壤NH_4-N的含量，即得矿化量。

3．矿化常数K和n值的计算举例：将经验公式$Y=K[(T-T_0)D]^n$两边同时取对数，即得直线回归方程：

$$\lg Y=\lg K+n\lg[(T-T_0)D]$$

设$y=\lg Y$，$x=\lg[(T-15)D]$，$a=\lg K$，$b=n$，那么可得$y=a+bx$的典型直线方程

然后将各次测定结果列表进行计算。例如，鳝血黄泥土的风干土样在30℃下培养2，4，6，8，10，12周时的有效积温和测得的矿化量平均值列表如下：

有效积温(°C)	210	420	630	840	1050	1260
矿化量(毫克/100克土)	8.01	9.46	11.00	11.97	13.03	13.56
x	2.322	2.623	2.799	2.924	3.021	3.100
y	0.9036	0.9759	1.041	1.078	1.115	1.132

按照解直线回归方程的方法可计算出b和a值。

$$b = \frac{\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\Sigma(x-x)^2} = 0.30 \quad n = b = 0.30$$

$$\lg k = a = \bar{y} - b\bar{x} = 0.193, k = 1.6$$

因此，鳝血黄泥土的矿化曲线可表示为：

$$y = 1.6[(T-15)D]^{0.30}$$

参考文献

〔1〕中国科学院南京土壤研究所主编，中国土壤，365页，1978。

〔2〕朱兆良、廖先苓、蔡贵信、俞金洲，苏州地区双三制下土壤养分状况和水稻对肥料的反应。土壤学报，15：126—137，1978。

〔3〕朱兆良、陈荣业、徐永福、徐银华、张绍林，苏州地区平田黄泥土氮素供应过程的特点及其与氮肥施用方法的关系。土壤学报，16：218—233页，1979。

〔4〕出井嘉光，水田における有機物の集積と分解。日土肥，46：251—254，1975。

〔5〕鬼鞍丰等。稻作期における土壤窒素の有效化過程。日土肥，46：255—259，1975。

〔6〕吉野喬。水田土壤の窒素无機化と供给力推定法。日农業および园芸。53：299—302，1978。

〔7〕Stanford G. and Smith. S.T. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 36: 465—472, 1972。

〔8〕Stanford G. et al. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 38: 99—102, 1974。

科学讲座

土壤水分的运动形式与能量转换

张君常

（西北农学院）

（二）毛管水的表面自由能是推动毛管水运动的动力

当吸湿水达到最大吸湿量之后，气态水分子即在土壤颗粒与颗粒之间所形成的毛管中成为分子流在运动，土壤中的毛细管是错综复杂的，在未完全弄清之前，土壤科学工作者姑且以平滑直立上下均匀的或不均匀串珠状的毛管来解释一些土壤中毛管水分流动的现象，本文仍以形象的直立均匀的毛管为主来从事研究水分的运动问题。

水分子流通过毛细管时，分子除相互碰撞外还碰撞管壁。在碰撞管壁的时候，还须停留一个短暂的时间(一个平均时间)τ，然后向各个方向重新蒸发。在某一方向上从表面蒸发的分子数与方向也是按照 Knudsen 定律($S \cdot 4n\pi a^3 e^{-bc^2} c^2 dc \cdot \frac{d\omega}{4\pi} \tau \cdot \cos\theta dt$)进行的。在我们所希望的方向和反方向上蒸发，都有相同的机会。仅因滞留造成了时间的少许延迟。

Clausing 算出了分子通过长为 l、直径为 d 的毛细管所需的平均时间 $\bar{t}$，其值为：

$$\bar{t} = \frac{l^2}{2d\bar{u}} + \frac{l^2\tau}{2d^2}$$

其中 $\bar{u}$ 是分子的平均速度。在此表达式中的第一项是由重新蒸发的余弦定律所致，第二项是由于时间 τ 的存在而导得，当测得 $\bar{t}$ 后，可用上式算出 τ 如下：

$$\tau = \frac{2d^2}{l^2}\left(\bar{t} - \frac{l^2}{2d\bar{u}}\right) = \frac{2d^2}{l^2}\bar{t} - \frac{d}{\bar{u}}$$

水分通过毛细管已如上述，在一定条件下由于多分子流束的凝集形成液流，尤其在含有多种离子的土壤水(即毛管水)中。至于液体在毛细管中流动的动力及高度又是怎样的呢？利用什么方法测定它的能量？这在生产上是十分重要的，如盐碱土的临界水位问题，耕、犁、耙、耱的的深度，时间与土壤保墒问题，都与毛细管水分的上升速度及高度有密切的联系。

在测定毛管水的移动水分时已往常用的古典的毛