

γ 射线法测定土柱内水分 移动之初步试验

熊运章

对于土壤中水分动态的了解是合理进行灌溉和及时进行农业耕作的重要依据，因之这一问题从来就为先进农业生产者、土壤改良工作者、土壤学家和农学家所注意。人们对于土壤水分动态规律的了解越深入全面，人们越有可能预计出各时期之土壤水分状况，从而更加正确地采取措施加以控制。

土壤中水分移动问题曾为许多先进农业工作者和农业科学家所研究，它的某些规律已为人们所发现。近代科学技术新方法的应用能够帮助人们进一步揭示出土壤水分移动的详细过程。

最近几年国内外科学研究机关利用 γ 射线及中子法进行了土壤湿度测定的研究，试验证明，利用这些方法能够大大减轻田间土壤湿度测量的繁重劳动，能较容易而迅速地掌握土壤湿度状态。

上述方法较旧的土壤湿度测量法具有很多优点。例如采用取土样烘干法每次需要采取大量土样并进行称重烘干等繁重工作，而且由于每次取土必须改换地点，从而不能揭示某一定点水分移动的详细过程。现有电阻法虽然也能进行定位连续观测，但这种方法在很大程度上受着土壤溶液浓度的影响，同时电极之接触器在吸水 and 放水时需要一定时间，未能立即反应土壤现有湿度状态（特别是当湿度变化较大的时候）。此外接触器的吸水过程和放水过程不相一致，也大大影响测量结果。

目前利用 γ 射线法测定土壤湿度主要在田间进行。它具有重要的生产实践意义，在实验室条件下利用 γ 射线进一步明确渗透和蒸发时土壤水分移动的详细过程和某些基本规律对进行田间试验有很大帮助，此项工作目前尚未见进行。

应用旧方法进行室内土柱中水分之移动具有某些缺点，例如采用取土样测定土壤湿度的方法会破坏土柱的完整性，只能进行一次测定，因而无法确定水分移动的全部过程。为了解决这一问题，某些研究者曾采用了几个“条件相同”土柱进行试验，每隔一定时间测定其中一个土柱的水分状况，最后加以比较用来说明在不同时

期土柱的水分变化。这种方法显然是不够完善的,因为各个土柱的条件实际上是难于完全相同的。其次这种方法所采用的土柱直径一般不大于10厘米,土柱过小,水分移动受管壁的影响较大。

为了改善土壤水分移动的室内试验方法,作者于1959年利用 γ 射线法进行了新的试验。试验设备包括 γ 射线法的全部装置,人工蒸发条件设备及半导体土壤温度测定设备。

基本原理

某些放射性同位素在其衰变过程中能放射出 γ 射线。 γ 射线具有很大的穿透能力,当其穿过物质时与物质之原子发生着复杂的相互作用过程(如光电效应,康普顿散射,偶之产生),其结果使部分射线为物质所吸收或发生散射,部分射线则沿原来方向穿过物质。穿过物质后之射线束即被减弱,其减弱之程度决定于物质之密度及厚度。利用 γ 射线计数管和定标器测定被减弱后之 γ 射线强度即可求得物件之厚度及密度(图1)。 γ 射线强度和吸收体厚度之间具有下述指数函数关系:

$$I = I_0 e^{-\mu d} \quad (\text{公式 1})$$

式中 I_0 ——未穿经吸收体时之 γ 射线强度(脉冲/分钟),

I ——穿经吸收体后之 γ 射线强度(脉冲/分钟),

μ ——吸收体对于 γ 射线的线性吸收系数(厘米⁻¹), μ 值决定于吸收体之性质及 γ 射线之能量,

d ——吸收体之厚度(厘米)。

公式I又可改写为:

$$I = I_0 e^{-\mu m dm} \text{ 或 } I = I_0 e^{-\mu m \rho d} \quad (\text{公式 2})$$

式中 μm ——质量吸收系数(厘米²/克)

dm ——质量厚度(克/厘米²)

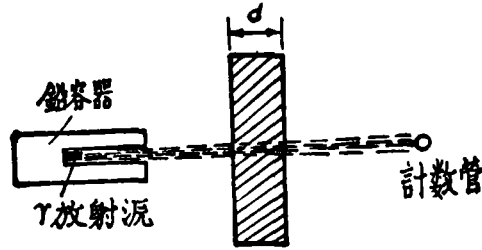
ρ ——吸收体之密度(克/厘米³)

I_0 及 I 之意义同前。

当测得 I 及 I_0 并已知 μ 值后即可求得吸收体厚度 d :

$$d = \frac{\ln I_0 - \ln I}{\mu} \quad (\text{厘米}) \quad (\text{公式 3})$$

在土壤湿度测量中可将土壤中之水量用沿某方向之水层厚度表示。当测得 γ 射



射线穿过原有土壤（具有原始湿度之土壤）后之射线强度 I_0 及穿过湿度变化后土壤之射线强度 I ，并由表I（参1）按 γ 射线之能量选用水之线性吸收系数 μ 值，即可求得二次测量期间土壤内水量之差值 Δl ：

$$\Delta l = \frac{l_n I_0 - l_n I}{\mu} \quad (\text{厘米}) \quad (\text{公式 4})$$

在土壤原始水量 l_0 已知（可用烘干法或其他方法测得）条件下求得土壤现有之水量 L ：

$$l = l_0 + \Delta l = l_0 + \frac{l_n I_0 - l_n I}{\mu} \quad (\text{厘米}) \quad (\text{公式 5})$$

若土壤之湿度为 ω （干土重%） γ 射线所穿过土壤厚度为 L （厘米），土壤之干容重为 a （克/厘米³），则得：

$$\omega = \frac{l}{L \cdot a} 100 \quad (\text{干土重}\%) \quad (\text{公式 6})$$

同理可求得相当于水层厚为 Δl 时之土壤湿度差 $\Delta \omega$ 及土壤原有湿度 ω_0 ：

$$\Delta \omega = \frac{\Delta l}{L \cdot a} 100 \quad (\text{干土重}\%) \quad (\text{公式 7})$$

$$\omega_0 = \frac{l_0}{L \cdot a} 100 \quad (\text{干土重}\%) \quad (\text{公式 8})$$

最后得出土壤现有湿度公式：

$$\omega = \omega_0 + \frac{100}{L \cdot a} \cdot \frac{l_n I_0 - l_n I}{\mu} \quad (\text{干土重}\%) \quad (\text{公式 9})$$

表1 水之线性吸收系数 (1/厘米)

γ 射线能量 (兆电子伏)	0.2	0.5	0.1	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
μ (1/厘米)	0.140	0.090	0.067	0.057	0.048	0.042	0.038	0.033

土壤湿度之计算亦可按针对某一土壤容重 α 所绘制之校正曲线 $\omega = f(1)$ 来进行。

试验方法

鉴于过去试验时采用之土柱断面太小,本试验中采用了较大的土柱,断面为15.2厘米 $\times$ 28.1厘米,高75厘米。土柱外部系用薄铁皮作成,内填细砂与粘土的混合物,填高64.5厘米。土样均用筛筛过(筛孔最大直径为2毫米)填土时采用分层填土(每次10厘米)、分层压实的方法,以保持土样上下密度一致,土样之机械物理性如表2、3所示。

表2 土块物理性

原始湿度 (干土重%)	比重 (克/厘米 ³)	容重 (克/厘米 ³)		空隙率 (%)	最大持水量 (空隙%)
		风干土	绝对干土		
2.04	2.72	1.637	1.604	0.415	70.75

表3 土块机械组成

组 成	>2毫米	2—1毫米	1—0.5毫米	0.25—0.5毫米	<0.25毫米
%	0.00	13.75	7.55	4.40	34.70

试验中所采用之 γ 射线源为7毫克镭当量之放射性同位素钴——60。 γ 射线源放置于铅容器中,用曲铁棒连接计数管及铅容器,以便当铅容器移动时与计数管保持相对不变之位置。铅容器安设于铁架之滑板上,能够沿铁架之垂直铁管上下移动,并固定在必要位置上,以便在必要高度上测定土柱之湿度。为了使脉冲放大器靠近计数管,将脉冲放大器BFC—2固定在曲铁棒上,并与计数管和定标器相连接。全套设备如图2所示。

为了建立人工蒸发条件,在土柱上端安装两个109瓦之电灯,并用通风机徐徐通风,每日由早晨9时起下午四时停止,强烈蒸发7小时。

为了迅速测定土壤温度变化,采用了半导体温度测量设备。设备中之温度感应器为MMT—1型半导体热敏电阻,其测量部分包括0—300微安培电表及转动开

关, 用1.5伏手电池作为电源, (图3)。作为温度感应器之MMT—1型半导体热敏电阻之二端用绝缘胶布慎密包裹以便在湿土介质中不发生短路。埋设感应器以前在烘箱中用普通温度计作出电流强度——温度校正曲线。按照土壤温度之变幅不同温度感应器分别埋设在土表以下0.2 5、10、20、35、55厘米处。温度感应器与转动开关及电表相连接。

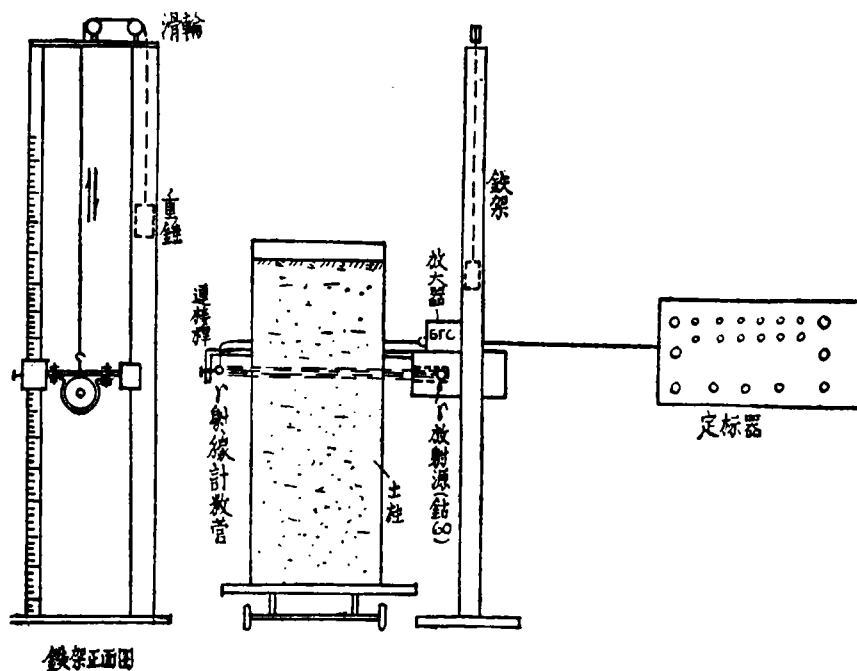


图2 以 ^{60}Co 作 γ 射线源测定土柱内湿度变化之装置

上述半导体热敏电阻具有较高之温度系数, 其值可达3—4%/1°而普通金属电阻之温度系数仅0.4%/1°, 采用这种方法的试验设备较为简单, 测量方便可靠。同时亦可用于田间测量。

试验前土壤之原始湿度用烘干法测定, 填土后立即测定 γ 射线穿过土柱后射线之原始强度 I_0 。灌水后连续测定 γ 射线穿过湿土柱后强度之变化。以后每日上午9时土壤加热前及下午4时加热停止后各测量一次, 沿土柱高度每5公分测量一点, 每点测二次重复, 每次记数二分钟。为了计算简便起见土壤湿度按前述之公式5进行以沿射线方向之水层厚度表示:

$$l = l_0 + \Delta l = l_0 + \frac{\ln I_0 - \ln I}{\mu} \quad (\text{厘米})$$

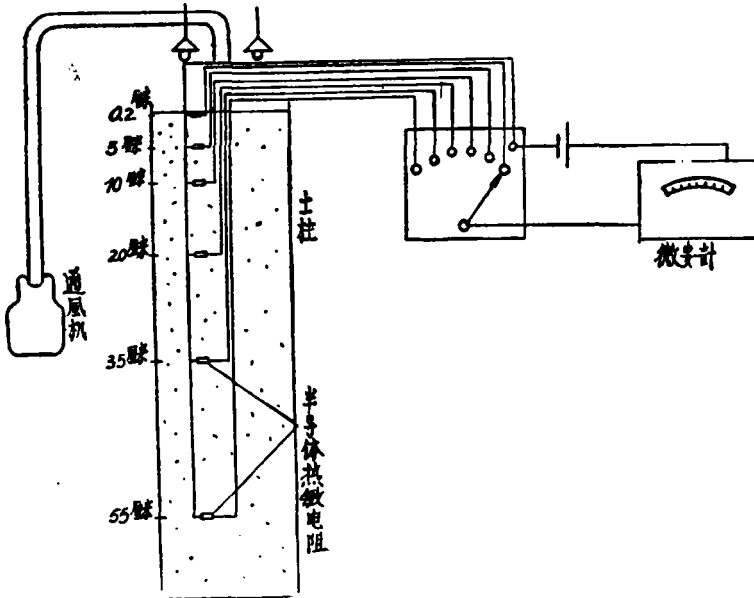


图3 人工蒸发条件及温度测量设备示意图

公式中之 μ 值经实测后得 $\mu = 0.056$ 。

试验之第一日灌水4.380公升，预计在60厘米土层中使土壤湿度不超过70%最大持水量，以便造成土壤中悬着水状态。

为了明瞭灌水后土壤中之渗水过程，灌水后在上层土壤中每一定点（1，5，10，15，20，25，30厘米）由各层渗润开始算起隔10数分钟测量一次。在间歇时间可以上下移动放射源，测量其他点之湿度。

渗润测量因时间所限共测4小时，土层深度为30厘米。以后则按灌水后第2、4、5、7、9日每日上下午各测量一次。

测量时每天先测出试验室内环境之放射性底数，底数变化时应将该日资料加以修正，以第一日之底数为基准。

采用这种方法，每小时约可测量24次（每次以2分钟计算）较取土烘干法效率提高7—8倍。

试验结束时用烘干法进行了湿度验证测定。所测得之资料绘于图4中，由图4看出试验经过9昼夜之后，最后所测得之湿度同烘干法比较误差在2%（干土重）左右。

试验过程中由于铁板下部缝隙扩大部分土粒漏掉，对下部土壤湿度之测定稍

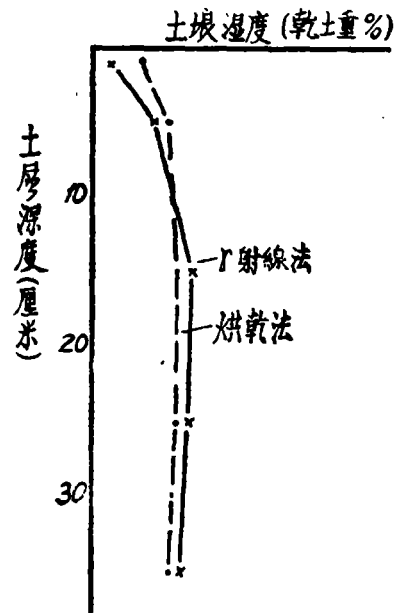


图4 射线法与烘乾法测定土柱内土壤湿度之比较

有影响。

資料分析

在土壤滲漏测定中 γ 射线穿过土柱之放射强度变化于 74×64 脉冲/2分鐘与 110×64 脉冲/2分鐘之間，前值相当于 γ 射线穿过乾土后之强度，后值相当于 γ 射线穿过飽和土壤之强度（图5），滲潤曲线表明各层土壤开始浸潤以及最后达飽和时其过程具有渐变的特征，愈靠下层变化愈緩慢，为了明显比較各层之浸潤情况，采用脉冲变化之平均数作为半飽和状态之指标。

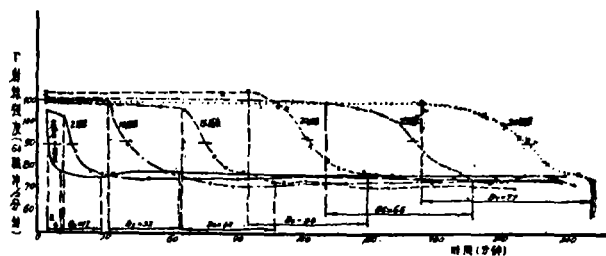


图5 不同土层之浸潤过程綫E—各层土壤达飽和所需時間（分鐘）

由图5可以得到灌水后各层土壤达到半飽和状态所需之時間，按此資料可以繪

成一光滑之曲线，此曲线接近于抛物线（图6）。

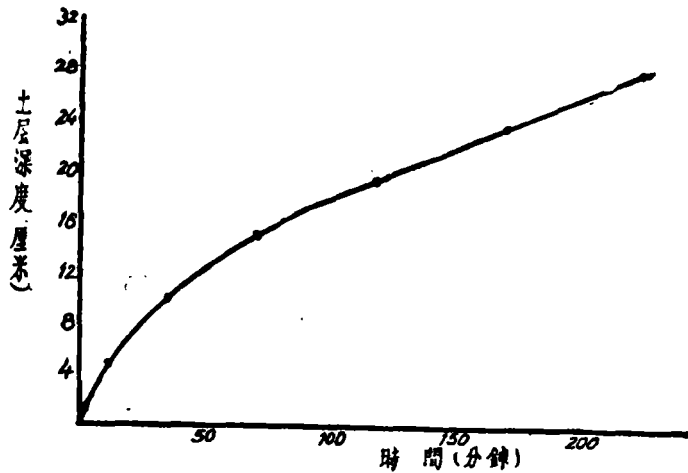


图6 不同土层过达半饱和状态之时间（由灌水开始算起）

由图5还可以求得各层土壤由浸润开始到完全饱和时之历时，资料表明土层越深其历时越久，按此可以绘成另一光滑曲线，此曲线接近直线（图7）。

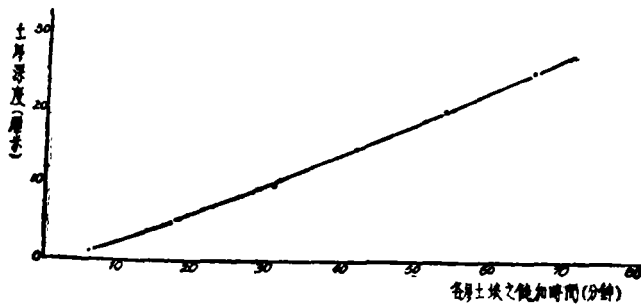
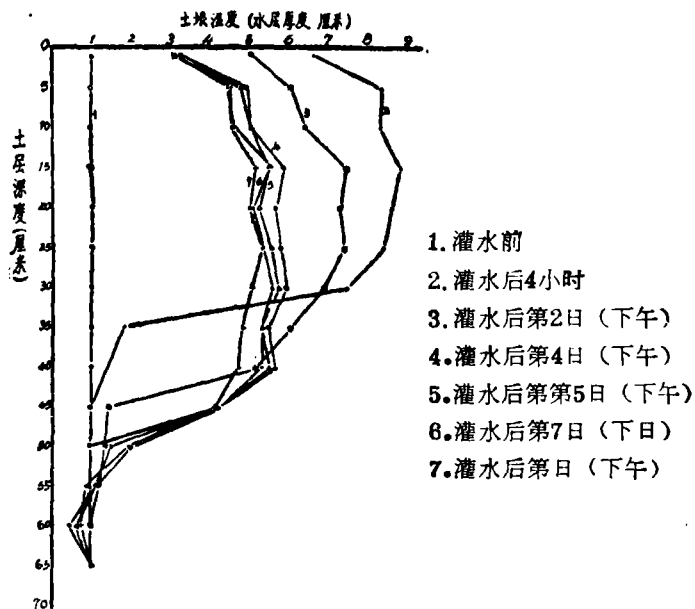


图7 不同土层之饱和时间曲线

按照灌水后蒸发条件下各日下午测定的土壤湿度资料可绘成图8之曲线，曲线表明，在容重很大的乾土中经过4小时可以使30厘米之土层达到饱和，下层浸润很快即达到45厘米，45厘米以下之湿度变化很小，上层土壤由于渗漏和蒸发的延续，湿度很快减小，蒸发至第4日表层湿度已趋稳定，中层湿度仍然继续减少。由于下层湿度已基本稳定，说明水分呈悬着水状态，水分之消耗形式表现为土壤表层之蒸发。

图8 蒸发条件下灌水后土壤湿度之变化



分析土壤湿度之日变化, 看出在蒸发强烈条件下, 下午土壤各层湿度较上午有显著减少, 此变化上层大于下层(图9)。第二日上午土壤湿度较前一日下午之土

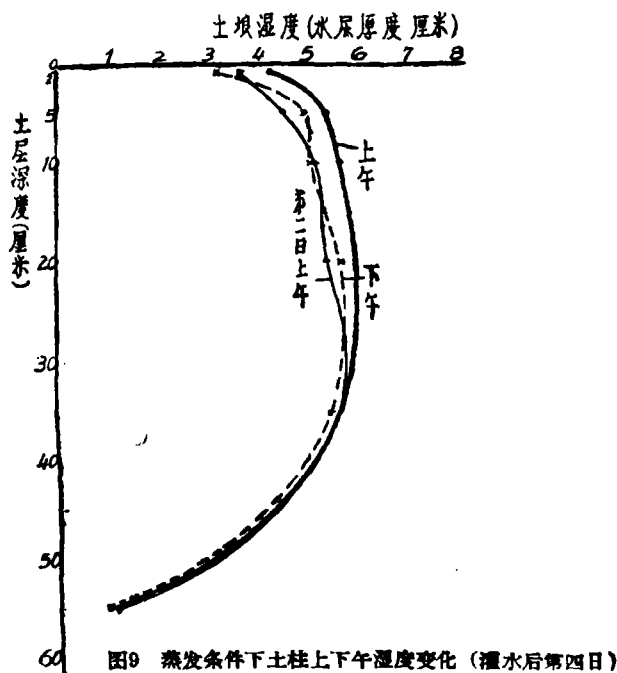


图9 蒸发条件下土柱上下午湿度变化(灌水后第四日)

壤湿度部分稍有增加,但低于前一日上午之土壤湿度,表明在加热停止后,由于土壤温度之降低,土壤表层吸收了空气中之水汽,并说明由于土壤温度的变化引起土壤内部水分的重新分布。

土壤上层加热情况下,不同土层温度之变化如图10所示,可以看出表层温度在加热后温度迅速上升,加热停止后表层温度又迅速下降,此时在土柱中部,温度仍有增加。土柱35厘米以下温度之变化极小,上部变化最大。土壤温度梯度最大值出现于表层土壤,其值达 $1.7^{\circ}\text{C}/\text{厘米}$,下层温度梯度接近于零。比较图10与图9看出土壤中温度变化同湿度之变化具有相应之规律,本试验对土壤温度变化和湿度变化的相互作用过程测定得尚不够充分,今后应进一步进行试验。

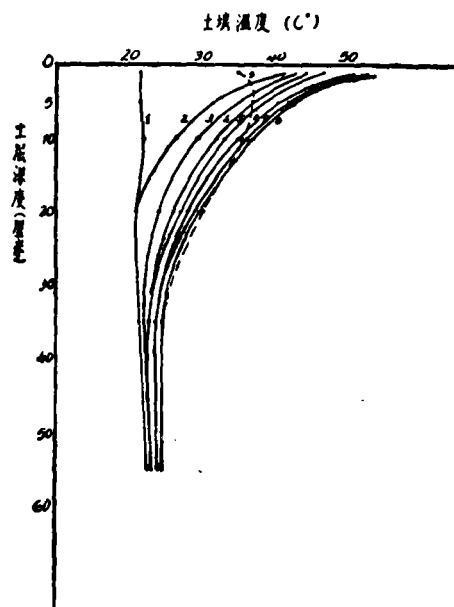


图10土壤上层加热后土层之中温度变化

1. 加热前(早晨)
2. 加热后经过1小时
3. 加热后经过2小时
4. 加热后经过3小时
5. 加热后经过4小时
6. 加热后经过5小时
7. 加热后经过6小时
8. 加热后经过7小时
9. 停止加热1小时

试验进行之时间仅9昼夜,为期较短,进一步试验应延长2—3月。

结 论

1). 利用 γ 射线法测定土柱内水分之动态,能迅速获得满意的结果,能够揭示土柱内水分移动之详细过程,提高工作效率,同时它不受土壤溶液浓度之限制。

2). 利用 γ 射线法能够较容易而详细的测定灌水后的渗漏过程。各层达半饱和状态之历时与土层深度呈抛物线变化,各层从渗润开始到饱和之时间与土层深度关系接近于直线。

3). 灌水后第二日下层土壤湿度即达稳定, 上层湿度仍不断减少。第四日后表层湿度已达稳定, 中层湿度仍渐, 表明水分已呈悬着状态, 水分之消耗主要表现为土壤蒸发。

4). 蒸发强烈条件下, 下午土壤湿度较上午显著减少, 以上层为最甚。第二日下午则较前一日下午变化不大, 甚至部分土层湿度稍有增加, 此种变化与土壤温度之变化密切相关。

5). 本试验为一初步尝试, 试验为时较短, 土壤中水热变化资料尚不够充分, 有待继续进行。

(试验进行中曾得到苏联专家农业副博士 Е. Г. Петров 及 В. А. Емельянов 等同志的热心帮助和指导特此致谢)。

1960年1月

参考文献

1. Р. Е. Лэпп и Г. Л. Эндлюс: Физика ядерного излучения. (1956年)
2. А. И. Данилин: Применение ядерных излучений в гидрометеорологии. (1957年)
3. С. В. Астапов: мелиоративное почвоведение (1958年) .
4. С. В. Астапов, В. А. Емельянов и К. Н. Шишков: Опыт применения радиоактивных и изотопов кобальта и йода в мелиоративных исследованиях (гидротехника и мелиорация, 1958年, NO. 2)

Определение передвижения влаги в почвенной колонке методом γ -излучений

В лабораторных условиях быстро получены данные о передвижении влаги в почве методом γ -излучений, который позволит раскрыть его подробные процессы. По сравнению с другими методами этот метод значительно повышает коэффициент действия труда и не ограничен концентрацией почвенного раствора.

В данном докладе описывается метод определения передвижения влаги в почве при помощи γ -излучения в лабораторных условиях, процессы всасывания воды в почве после полива и передвижение влаги в почве при искусственном испарении. Во время опытов было использовано полупроводниковое термосопротивление для измерения температуры почвы, были получены предварительные данные по отношению изменения влажности и температуры почвы при условии испарения. Данный опыт является первой пробой. Опыты проведены только 9 суток. Опыты надо продолжать и его срок длится до 3-4 месяцев.

Данный опыт проводились под руководством кандидатов сельскохозяйственных наук В.А.Емельянова и Е.Г.Петрова и выполнены в радиоизотопной лаборатории Всесоюзного научноисследовательского института гирротехники и мелиорации.