



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102262042 A

(43) 申请公布日 2011. 11. 30

(21) 申请号 201110190034. 8

(22) 申请日 2011. 07. 07

(71) 申请人 中国农业大学

地址 100193 北京市海淀区圆明园西路 2 号

(72) 发明人 雷廷武 孙蓓 马玉莹 赵军

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 王莹

(51) Int. Cl.

G01N 15/08 (2006. 01)

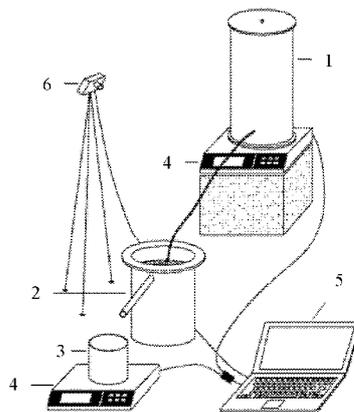
权利要求书 1 页 说明书 9 页 附图 2 页

(54) 发明名称

农地耕层与犁底层土壤入渗性能连续测量装置及方法

(57) 摘要

本发明涉及土壤入渗性能测量技术领域,公开了一种农地耕层与犁底层土壤入渗性能连续测量装置及方法,该装置包括恒定流量供水装置、用于向测量地表进行点源供水的点源布水装置、入渗环、排水容器、相机、两个流量传感器;其中,所述恒定流量供水装置与入渗环通过第一水管连接,所述入渗环和排水容器通过第二水管连接,所述点源布水装置位于所述入渗环内,所述两个流量传感器分别位于所述入渗环的出水口下方以及所述排水容器的下方,所述相机位于所述入渗环上方。本发明操作简单、节省成本。



1. 一种农地耕层与犁底层土壤入渗性能连续测量装置,其特征在于,包括恒定流量供水装置、用于向测量地表进行点源供水的布水装置、入渗环、排水容器、相机、两个流量传感器;其中,

所述恒定流量供水装置与入渗环通过第一水管连接,所述入渗环和排水容器通过第二水管连接,所述点源布水装置位于所述入渗环内,所述两个流量传感器分别位于所述入渗环的出水口下方以及所述排水容器的下方,所述相机位于所述入渗环上方。

2. 如权利要求1所述的测量装置,其特征在于,所述测量装置还包括计算机,所述计算机分别通过数据线与所述两个流量传感器连接。

3. 如权利要求1所述的测量装置,其特征在于,所述恒定流量供水装置为马氏瓶。

4. 如权利要求1所述的测量装置,其特征在于,所述布水装置为点源布水器。

5. 一种利用权利要求1~4中任一项所述的测量装置进行土壤入渗性能连续测量的方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、将入渗环插入土壤地表,在入渗环的出水口的一侧的位置开挖土壤,以使得出水口下方空间能够容纳所述排水容器和流量传感器;

S2、调节所述恒定流量供水装置的进气口与出水口的距离,调节所述恒定流量供水装置的供水量 q' 达到设计值;将布水装置放置于入渗环内土壤地表的最上方,将调节好供水量的恒定流量供水装置的出水口置于布水装置上方,记录供水开始的时刻;

S3、按照设定的时间间隔用相机记录给定时刻水流在入渗环内湿润的地表图像,以计算不同时刻地表湿润面积的值;根据不同时刻地表湿润面积的值计算不同时刻的土壤入渗率。

6. 如权利要求5所述的方法,其特征在于,

在耕层土壤入渗阶段,土壤入渗率的计算公式为:

$$i_n = \frac{q' - \sum_{j=1}^{n-1} i_{n-j} \Delta A_{j+1} \cos \alpha}{\Delta A_1 \cos \alpha}$$

其中, i_{n-j} 为 t_{n-j} 时刻的土壤入渗率,也代表第 $n-j$ 时段的平均入渗率; ΔA_{j+1} 为第 $j+1$ 时间段内地表湿润面积的增量; i_n 为 t_n 时刻的土壤入渗率,也代表第 n 时段的平均入渗率; ΔA_n 为时段 $t_n - t_{n-1}$ 内地表湿润面积的增量; n 为大于或等于 2 的整数;

在耕层土壤入渗阶段到犁底层土壤入渗的过渡阶段,土壤入渗率的计算公式为:

$$i_n = \frac{q' - q_0 - \sum_{j=1}^{M-1} i_{n-j} \Delta A_{j+1} \cos \alpha}{\Delta A_1 \cos \alpha}$$

其中, M 为耕层土壤入渗阶段计算得到的土壤入渗率数值的个数;

在犁底层土壤入渗阶段,土壤入渗率的计算公式为:

$$i_n = \frac{q}{A_0 \cos \alpha} = \frac{q' - (Q_i - Q_{i-1}) / \Delta t_i}{A_0 \cos \alpha}$$

其中, q 为净入渗水流量; Q_i 和 Q_{i-1} 分别为第 i 和第 $i-1$ 时刻从排水容器收集到的出流水的总体积; Δt_i 为第 i 个时段; A_0 为入渗环的面积。

农地耕层与犁底层土壤入渗性能连续测量装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及土壤入渗性能测量技术领域,特别是涉及一种农地耕层与犁底层土壤入渗性能连续测量装置及方法。

背景技术

[0002] 铧式犁耕作是国际国内使用广泛且历史悠久的耕作方式。农田土壤经过较长期的农耕活动后,在垂直方向上会形成层状结构:表层土壤有机质含量较高、结构疏松、孔隙较大;地表以下一定深度的土壤由于长期受到犁耕压实等的作用,形成一层比较坚硬、结构较密实、孔隙较小的土层,通常称之为犁底层。犁底层下的土壤为未经扰动的芯土。铧式犁耕作形成的犁底层的土壤具有较耕层更致密的土壤结构、更大的容重和更低的土壤入渗性能,影响农耕地的降雨入渗产流和水文过程。

[0003] 目前常用的土壤入渗率测量方法有很多,如双环法(Bouwer,1986)、人工模拟降雨法(Peterson and Bubbenzer,1986;Ogden et.al.,1997;Yuan et.al.,1999)、圆盘入渗仪法(Perroux and White,1988)等。在双环法和人工降雨法中,由于地表的快速湿润导致了地表结皮的产生,大大降低了土壤的入渗性能(Levy et.al.,1997;Mamedov et.al.,2001)。这在一定程度上影响了土壤入渗率的测量精度。双环法不能应用于坡面,限制了该方法在野外的应用。受降雨强度的限制,土壤初始很高的入渗性能在人工模拟降雨法中观测不到。双环法中也存在类似的问题,即双环法和人工降雨法测量不到土壤初始很高的入渗性能,这两种方法测量不到完整的土壤入渗性能过程线。圆盘入渗仪试验中存在侧渗等问题,影响了该方法的测量精度。在这些传统测量方法的基础上,提出了很多修正方法(Singh et al.,1999;Katherine and Stephen,2006)。毛丽丽等(2008)提出了一种土壤入渗性能的线源入流测量方法。该测量方法建立在地表湿润面积与土壤入渗性能之间的关系,该方法测量精度高、测量方便快捷、自动化程度高,但由于层状土壤犁底层入渗能力极低,无法连续测得耕层和犁底层的连续入渗曲线。

发明内容

[0004] (一)要解决的技术问题

[0005] 本发明要解决的技术问题是:如何提供一种操作简单、节省成本的农地耕层与犁底层土壤入渗性能连续测量方案。

[0006] (二)技术方案

[0007] 为解决上述技术问题,本发明提供了一种农地耕层与犁底层土壤入渗性能连续测量装置,包括恒定流量供水装置、用于向测量地表进行点源供水的布水装置、入渗环、排水容器、相机、两个流量传感器;其中,

[0008] 所述恒定流量供水装置与入渗环通过第一水管连接,所述入渗环和排水容器通过第二水管连接,所述点源布水装置位于所述入渗环内,所述两个流量传感器分别位于所述入渗环的出水口下方以及所述排水容器的下方,所述相机位于所述入渗环上方。

[0009] 优选地,所述测量装置还包括计算机,所述计算机分别通过数据线与所述两个流量传感器连接。

[0010] 优选地,所述恒定流量供水装置为马氏瓶。

[0011] 优选地,所述布水装置为点源布水器。

[0012] 本发明还提供了一种利用所述的测量装置进行土壤入渗性能测量的方法,包括以下步骤:

[0013] S1、将入渗环插入土壤地表,在入渗环的出水口的一侧的位置开挖土壤,以使得出水口下方空间能够容纳所述排水容器和流量传感器;

[0014] S2、调节所述恒定流量供水装置的进气口与出水口的距离,调节所述恒定流量供水装置的供水量 q' 达到设计值;将点源布水装置放置于入渗环内土壤地表的最上方,将调节好供水量的恒定流量供水装置的出水口置于点源布水装置上方,开始记录开始的时刻;

[0015] S3、按照设定的时间间隔用相机记录给定时刻水流在入渗环内湿润的地表图像,以计算不同时刻地表湿润面积的值;根据不同时刻地表湿润面积的值计算不同时刻的土壤入渗率。

[0016] 优选地,在耕层土壤入渗阶段,土壤入渗率的计算公式为:

$$[0017] \quad i_n = \frac{q' - \sum_{j=1}^{n-1} i_{n-j} \Delta A_{j+1} \cos \alpha}{\Delta A_1 \cos \alpha}$$

[0018] 其中, i_{n-j} 为 t_{n-j} 时刻的土壤入渗率,也代表第 $n-j$ 时段的平均入渗率; ΔA_{j+1} 为第 $j+1$ 时间段内地表湿润面积的增量; i_n 为 t_n 时刻的土壤入渗率,也代表第 n 时段的平均入渗率; ΔA_n 为时段 $t_n - t_{n-1}$ 内地表湿润面积的增量; n 为大于或等于 2 的整数;

[0019] 在耕层土壤入渗阶段到犁底层土壤入渗的过渡阶段,土壤入渗率的计算公式为:

$$[0020] \quad i_n = \frac{q' - q_0 - \sum_{j=1}^{M-1} i_{n-j} \Delta A_{j+1} \cos \alpha}{\Delta A_1 \cos \alpha}$$

[0021] 其中, M 为耕层土壤入渗阶段计算得到的土壤入渗率数值的个数;

[0022] 在犁底层土壤入渗阶段,土壤入渗率的计算公式为:

$$[0023] \quad i_n = \frac{q}{A_0 \cos \alpha} = \frac{q' - (Q_i - Q_{i-1}) / \Delta t_i}{A_0 \cos \alpha}$$

[0024] 其中, q 为净入渗水流量; Q_i 和 Q_{i-1} 分别为第 i 和第 $i-1$ 时刻从排水容器收集到的出流水的总体积; Δt_i 为第 i 个时段; A_0 为入渗环的面积。

[0025] (三) 有益效果

[0026] 本发明根据水量平衡原理,提出了农地耕层与犁底层土壤入渗性能测量方法及相应的测量装置,该方法和装置可以方便地应用于野外试验中,携带方便、操作简单,可即时获得数据,在计算机的控制下自动进行,节省大量的时间、人力和物力。

附图说明

[0027] 图 1 是本发明的装置结构图;

[0028] 图 2 是试验中地表湿润面积随时间变化曲线;

- [0029] 图 3 是用数值方法计算得到的耕层土壤入渗性能曲线；
- [0030] 图 4 是用平均近似方法计算得到的耕层土壤入渗性能曲线
- [0031] 图 5 是耕层与犁底层土壤连续入渗过程曲线。
- [0032] 其中,1 马氏瓶、2 入渗环、3 排水容器、4 流量传感器、5 计算机、6 相机。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施用于说明本发明,但不用来限制本发明的范围。

[0034] 本发明的测量装置构成如图 1 所示。由马氏瓶 1、点源布水器(图中未标示)、入渗环 2、排水容器 3、流量传感器 4、计算机 5 及相机 6 组成。

[0035] 其中,马氏瓶 1 与入渗环 2 通过第一水管连接,所述入渗环 2 和排水容器 3 通过第二水管连接,点源布水器于所述入渗环 2 内,所述两个流量传感器 4 分别位于所述入渗环 2 的出水口下方以及所述排水容器 3 的下方,所述相机 6 位于所述入渗环 2 上方。根据马氏瓶 1 的进气口与出水口的高差来调节和控制恒定的供水流量,用于向测量地表供水。

[0036] 水流由马氏瓶经由第一水管、点源布水器实现向测量地表进行点源供水。进入点源布水器内的水流经由孔口流入布水绵,再由布水绵均匀向地表土壤供水用于土壤入渗,实现点源均匀布水。

[0037] 入渗环为直径 20cm 的圆环,高 25cm,距底部 20cm 处设计排水口,环底部边缘做成刃口,以便野外试验时将环插入土中。测量时将入渗环插入土壤,底部进入犁底层,排水口与地表平齐,用于当入渗水量小于供水量时由圆环向外排水。引入入渗环内的水一部分用于供给土壤入渗,超出土壤入渗的水流在入渗环内集聚,当入渗环内的水位上升至溢水口高程时,入渗环内的水开始由溢水口溢出,溢出的水流经第二水管流入到所述排水容器内。

[0038] 相机采用可控工业数码相机,最大变焦倍数为 4 倍,分辨率为 400 万像素,光照系统采用含白光较多的日光灯。相机用于记录供给到水流在地表湿润面积随时间的变化过程,用于估算耕层土壤初始较高的入渗性能。

[0039] 两个流量传感器测得的数据分别用来计算供水量和排水量,数据通过传输线传输到计算机上,由计算程序计算得到稳定的土壤入渗性能。

[0040] 下面介绍测量原理。

[0041] 当用一定流量向地表供水时,由于初始土壤入渗能力大,一定流量的供水水流湿润的面积较小。随着时间的推移和土壤入渗性能的降低,给定流量的水流湿润的面积不断扩大,即水流在地表随着时间向前推进。水流在地表湿润面积随时间的变化过程完全由土壤的入渗能力控制,因此可以依此计算土壤的入渗性能。水流在地表湿润面积的增大的过程至入渗环内地表土壤完全湿润为止。经过一段时间之后,供入入渗环的水一部分在环内土壤表面入渗,一部分水经由溢流口流出入渗环。出流流量完全由土壤的入渗性能确定,因此也可以依此计算土壤的入渗性能。随着入渗过程的推进,土壤的入渗性能不断降低,相应地,出流流量不断增大。最终受犁底层土壤入渗性能的影响,入渗环内耕层的所有土壤饱达到和,土壤入渗过程转为由犁底层入渗能力所控制,由出水口出流的水流量显著增加,并在一段时间后达到稳定。

[0042] 入渗过程由地表湿润面积随时间的变化过程和出流量随时间的变化过程估算

公式为：

$$[0043] \quad q' = \int_0^A i(A(\tau), t - \tau) \cos \alpha dA + q_0 \quad (1)$$

[0044] 式中, q' 为供水量, 单位是 mm^3/h ; i 为土壤入渗率, 单位是 mm/h ; α 为地表坡度, 单位是度; A 为随时间变化的地表湿润面积, 单位是 mm^2 ; t 、 τ 为时间, 单位是 h ; q_0 为由入渗环流出的水流流量, 单位是 mm^3/h 。

[0045] 公式 (1) 为统一的计算公式, 可以用于计算耕层土壤入渗性能随时间的变化过程和犁底层的土壤入渗过程。

[0046] 当入渗进行到溢流口有水流排出时 ($q_0 \neq 0$), 入渗流量计算公式如下：

$$[0047] \quad q = q' - q_0 = \int_0^A i(A(\tau), t - \tau) \cos \alpha dA \quad (2)$$

[0048] 式中, q 为净入渗流量, 单位是 mm^3/h 。

[0049] 式 (2) 表明, 供水流量扣除出流流量 (由 (2) 式左侧计算确定), 得到土壤实际入渗的水流流量, 并且土壤的入渗过程在空间不同位置是随时间变化的 (如上式 (2) 所示)。式 (2) 表示了入渗过程中的水量流量守恒规律。

[0050] 下面介绍入渗的三个阶段。

[0051] 首先是耕作层地表土壤入渗阶段：

[0052] 耕层地表土壤入渗阶段为试验开始到地表完全湿润的阶段, 此阶段没有出流水量, 供水流量即为净供水流量。式 (2) 简化为：

$$[0053] \quad q = q' = \int_0^A i(A(\tau), t - \tau) \cos \alpha dA \quad (3)$$

[0054] 尽管式 (3) 具有简单的形式, 但却很难得到完全解。式 (3) 的数值近似解计算过程如下: 设不同测量时段 Δt_1 、 Δt_2 、 \dots 、 Δt_n 内地表湿润面积增量为 ΔA_1 、 ΔA_2 、 \dots 、 ΔA_n , 所对应的水平投影面积为 $\Delta A_1 \cos \alpha$ 、 $\Delta A_2 \cos \alpha$ 、 \dots 、 $\Delta A_n \cos \alpha$ 。

[0055] 各时刻式 (3) 右侧积分的数值计算过程为：

[0056] t_1 时刻：

$$[0057] \quad q' = i_1 \Delta A_1 \cos \alpha \quad (4a)$$

[0058] t_2 时刻：

$$[0059] \quad q' = i_2 \Delta A_1 \cos \alpha + i_1 \Delta A_2 \cos \alpha$$

[0060] t_3 时刻：

$$[0061] \quad q' = i_3 \Delta A_1 \cos \alpha + i_2 \Delta A_2 \cos \alpha + i_1 \Delta A_3 \cos \alpha$$

[0062] t_n 时刻：

$$[0063] \quad q' = i_n \Delta A_1 \cos \alpha + i_{n-1} \Delta A_2 \cos \alpha + \dots + i_1 \Delta A_n \cos \alpha \quad (4)$$

[0064] 由公式 (4a) 计算得到 t_1 时刻的入渗率后, 可由式 (4) 逐步计算得到不同时刻的入渗率为：

$$[0065] \quad i_n = \frac{q' - \sum_{j=1}^{n-1} i_{n-j} \Delta A_{j+1} \cos \alpha}{\Delta A_1 \cos \alpha} \quad (n=2, 3, \dots) \quad (5)$$

[0066] 式中, i_{n-j} 为 t_{n-j} 时刻的土壤入渗率, 也代表第 $n-j$ 时段的平均入渗率, mm/h ; ΔA_{j+1} 为第 $j+1$ 时段内水流在地表的湿润面积增加的量, mm^2 。 i_n 为 t_n 时刻的土壤入渗率, 也代表

第 n 时段的平均入渗率, mm/h ; ΔA_n 为时段 $t_n - t_{n-1}$ 内地表湿润面积的增量, mm^2 。

[0067] 在测量中, 由于数值算法有可能产生不稳定的情况, 可采用平均近似算法计算土壤入渗性能作为对照。平均算法的计算公式为:

$$[0068] \quad \bar{i}(t) = \frac{q'}{A(t)} \quad (6)$$

[0069] 式 (6) 的计算结果为整个湿润面积上的平均土壤入渗率, 是时间 (而不是随空间变化的) 的函数, 单位是 mm/h ; q' 为供水量, 单位是 mm^3/h ; $A(t)$ 为地表湿润面积, 是时间的函数, 单位是 mm^2 。

[0070] 其次是耕层入渗过渡阶段。

[0071] 当入渗进行到一定时间后, 入渗环内地表完全被湿润。经过一段时间之后, 供入入渗环的水一部分在环内土壤表面入渗, 一部分水开始由溢流口流出入渗环。入渗环出口附近具有最大的入渗率, 而水源附近的入渗率已经降低到一定的程度。

[0072] 此阶段入渗环内的入渗率变化过程仍可以由水量平衡计算。此时在忽略犁底层土壤入渗时的水流量平衡仍由式 (2) 或其对应的数值计算公式 (5) 确定。由式 (5) 有:

$$[0073] \quad i_n = \frac{q' - q_0 - \sum_{j=1}^{M-1} i_{n-j} \Delta A_{j+1} \cos \alpha}{\Delta A_1 \cos \alpha} \quad (7)$$

[0074] 式中, M 为耕作层地表土壤入渗阶段计算得到的入渗率的个数。

[0075] 该过渡阶段一直持续到入渗环内耕层所有土壤均达到饱和, 此时由入渗环流出的水流量可能突然增大。从开始入渗到产流突然增大 (入渗环内全部饱和) 发生的时刻可以用式 (8) 来估计:

$$[0076] \quad T \geq \frac{V(\theta_s - \bar{\theta}_i)}{q'} = \frac{A_0 h (\theta_s - \bar{\theta}_i)}{q'} \quad (8)$$

[0077] 式中, T 为有入渗开始到入渗环内土壤完全饱和所需的时间, 单位是 h ; θ_s 和 $\bar{\theta}_i$ 分别为饱和含水量和耕层内土壤的平均初始含水量, 单位是 %; V 为犁底层内土壤的体积, 单位是 mm^3 ; A_0 为入渗环的面积, mm^2 ; h 为犁底层的深度, 单位是 mm 。

[0078] 当耕层土壤饱和后土壤入渗变慢, 入渗转入由犁底层控制的土壤入渗过程, 此时入渗具有较低和较稳定的值。

[0079] 最后是犁底层土壤入渗阶段。

[0080] 当试验进行一段时间后, 受犁底层土壤入渗率较低的影响, 圆环内犁底层上方的土壤全部饱和, 由环内流出的水量 (q_0) 显著增大, 而环内各处的入渗率相等。此时土壤的入渗性能完全由犁底层控制, 入渗性能在环内各处相等, 计算由此变得比较简单。此时, 在式 (2) 的积分中, 入渗率为常数, 入渗表面的面积也为常数, 从而式 (2) 简化为:

$$[0081] \quad q(t) = i_n A_0 \cos \alpha \quad (9)$$

[0082] 式中, i_n 为犁底层的入渗率, 单位是 mm/h ; A_0 为入渗环的面积, 单位是 mm^2 ; $q(t)$ 为净入渗水流通量, 单位是 mm^3/h 。

[0083] $q(t)$ 由下式确定:

$$[0084] \quad q(t) = q' - q_0 \quad (10)$$

[0085] 式中, q' 为马氏瓶供给的水流流量, 单位是 mm^3/h ; q_0 为由入渗环溢流口出流的水流流量, 单位是 mm^3/h 。

[0086] 计算犁底层土壤入渗性能的公式为:

$$[0087] \quad i_n = \frac{q}{A_0 \cos \alpha} = \frac{q' - (Q_i - Q_{i-1}) / \Delta t_i}{A_0 \cos \alpha} \quad (11)$$

[0088] 式中, i_n 为 t_n 时刻犁底层的入渗率, 单位是 mm/h ; q 为净入渗水流流量, 单位是 mm^3/h ; Q_i 和 Q_{i-1} 分别为第 i 和第 $i-1$ 时刻从排水容器收集到的出流水的总体积, 可由流量传感器自动获得, 单位是 mm^3 ; Δt_i 为第 i 个时段, 单位是 h ; A_0 为入渗环的面积, mm^2 。

[0089] 下面介绍测量步骤。

[0090] 选择地表比较平整的地面, 将入渗环垂直插 / 砸入地表直至排水管与地表平齐。在入渗环出水口的一侧适当位置开挖土壤, 使得出水口下方空间便于安放排水容器及传感器。调节供水马氏瓶进气口与出水口的距离, 试验开始前标定系统的供水流量 q' 达到设计值。将点源布水器至于入渗环内土壤表面的最上方。将调节好流量的供水管出水口置于点源布水器上方开始试验, 并立即记录试验开始的时刻。

[0091] 按照设定时间间隔用数码照相机记录给定时刻水流在圆环内湿润的地表图像, 用于计算不同时刻地表湿润面积随时间的变化过程。由湿润面积推进过程计算土壤入渗性能降低的过程。计算公式为 (5)。

[0092] 时段内的面积增量:

$$[0093] \quad \Delta A_i = A_i - A_{i-1} \quad (12)$$

[0094] 式中, A_i 和 A_{i-1} 分别为 i 和 $i-1$ 时刻测量得到的地表湿润面积, mm^2 ; ΔA_i 为时段内湿润面积的增量, mm^2 。

[0095] 当入渗进行到一定时间后, 环内地表完全被湿润。经过一段时间之后, 供入入渗环的水一部分在环内土壤表面入渗, 一部分水开始由溢流口流出入渗环。此时计算机通过流量传感器开始记录出流的水量, 并计算得到时段内净出流水流流量和净入渗水流流量。

[0096] 时段内的净入渗水流流量:

$$[0097] \quad q = q' - Q_0 / \Delta t \quad (13)$$

[0098] 式中, Q_0 为时段 Δt_i 内出流的水量, mm^3 。

[0099] 当出流的水流量明显增加到一个相对稳定值时, 表明湿润受到犁底层的影响, 继续试验一段时间, 当时段出流量稳定时, 测量过程完成, 并由式 (11) 计算得到稳定的犁底层入渗率。由此得到了铧式犁耕作农地完整的入渗过程曲线。

[0100] 下面用室内模拟试验进行验证。供试土壤颗粒分析见表 1。

[0101] 表 1 土壤颗粒组成分析

[0102]

胶粒 ($<0.002\text{mm}$)	粉粒 ($0.002-0.05\text{mm}$)	砂粒 ($0.05-1\text{mm}$)
31.8	62.8	5.4

[0103] 耕层土壤为风干土, 犁底层土壤含水率为 20%, 约为田间持水量的 60%。试验时

模拟农耕地土壤层状结构实际情况,按耕层土壤容重为 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 装土。犁底层土壤容重根据田间测量结果,装土干容重为 $1.56\text{g}/\text{cm}^3$ 。

[0104] 试验中,土壤地表面积随时间推进过程如图 2 所示。入渗过程初期地表湿润面积推进速度很快,后期逐渐变缓,最后湿润面积最终趋于稳定。

[0105] 利用测量原理中提出的数值计算方法对耕层土壤入渗性能进行计算,得到的土壤入渗性能随时间的变化过程及拟合曲线见图 3。

[0106] 从图 3 中可以看出,当耕层入渗过程采用数值算法时,得到的入渗率产生了不规则的波动,这是数值计算方法的原理所致,与选取的时间步长和湿润面积增加过程不协调有关,从而出现计算不稳定。另外,数值方法得到的初始土壤入渗性能的估计值为估计时段末期的值时,其值比实际值偏大,从而对后续计算产生影响,使计算得到的总是小于真实值。

[0107] 将地表入渗试验数据用平均近似算法计算得到的土壤入渗性能曲线得到的土壤入渗性能随时间的变化过程及拟合曲线见图 4。

[0108] 由图 4 可以看出,用平均近似方法计算得到的结果比用数值方法计算得到的结果稳定,没有出现不规则波动。

[0109] 整个试验过程(包括耕作层入渗过程和犁底层入渗过程)的入渗性能随时间变化的过程见图 5。

[0110] 图 5 所示为铧式犁耕作农地完整的入渗过程曲线。该曲线可分为 3 段,完整描述了耕作层和犁底层的入渗特性:

[0111] (1) 耕层入渗阶段:试验开始时,土壤入渗率很高,之后随时间逐渐降低,渐渐趋于一个稳定值,这一段曲线表示的是耕作层的土壤入渗性能曲线,也就是土壤入渗性能还没有受到犁底层影响的情况下上层土壤的入渗特性。该曲线的稳定值即为耕层土壤的稳定入渗率。

[0112] (2) 过渡阶段:该阶段为耕层土壤的稳定入渗率持续一段时间后,出现的一个快速下降直至入渗受犁底层控制的阶段。这是由于土壤当试验进行一段时间后,在耕层土壤还没有完全饱和的情况下受犁底层土壤入渗率较低的影响,导致土壤的入渗率呈现急速降低的状况。该过程持续到耕层土壤完全饱和为止。

[0113] (3) 犁底层入渗阶段:该阶段为过渡阶段入渗率快速下降后入渗率趋于稳定的阶段。也就是耕层土壤完全饱和,入渗性能完全由犁底层控制的阶段。测量得到的稳定值即为犁底层的入渗率。

[0114] 在犁底层上方土壤饱和之后测得的犁底层稳定入渗率见表 3。

[0115] 表 2 犁底层稳定入渗率 (mm/h)

[0116]

重复试验 1	重复试验 2	重复试验 3
4.16	7.62	12.27

[0117] 由表 2 可见,测得的犁底层入渗率很低。由此可见,犁底层的对耕地的入渗特性影响很大,了解表土层的土壤入渗特性对于指导农地合理耕作方式及农田灌溉以及减少耕地

水土流失有重要的意义。

[0118] 下面进行误差分析。

[0119] 耕层入渗性能可采用水量平衡原理进行相对误差分析。具体为通过比较试验总供水量和由土壤入渗性能曲线回归得到的累积入渗量,即可计算得到试验的相对误差,具体计算公式如下:

[0120] 总入渗量为:

$$[0121] \quad Q_1 = \int_0^A \left(\int_0^T i(t, A) dt \right) dA \quad (14)$$

[0122] 其中, $I(A)$ 为累积入渗量, (m^3/m^2 , 或 mm), 是坡面位置的函数:

$$[0123] \quad I(A) = \int_0^T i(t, A) dt \quad (15)$$

[0124] 马氏瓶的总供水量由试验中马氏瓶的读数测得或由下面的公式求出为:

$$[0125] \quad Q_2 = qT \quad (16)$$

[0126] 其中, q 为马氏瓶的供水流量, (l/h , 或 mm/min); T 为总入渗时间 (h , 或 min)。

[0127] 试验误差为:

$$[0128] \quad \delta = \left| \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} \right| \times 100\% \quad (17)$$

[0129] 估计得到的相对误差如表 3。可以看到根据数值方法得到的结果所计算得到的相对误差小于 10%, 证明该测量方法得到的耕作层入渗率测量结果具有较高的精度。平均近似方法所计算得到的相对误差小于 35%, 比数值方法计算得到的相对误差大, 这也说明平均近似方法计算的土壤入渗性能普遍要大于真实值, 该方法虽然精度低于数值方法, 但其计算稳定, 可作为数值方法计算结果的参照值。

[0130] 表 3 累积入渗量相对误差 (%)

[0131]

	重复试验 1	重复试验 2	重复试验 3
数值方法	8.10	6.84	2.32
平均近似方法	14.0	27.4	32.8

[0132] 由以上实施例可以看出, 本发明提出了一种新的测量方法, 用于在野外直接测量铧式犁耕作农田土壤入渗性能过程曲线。给出了测量系统的构成及相应的测量装置。测量方法采用恒定流量向地表供水, 由供水在地表湿润面积随时间的变化过程估计地表耕作层土壤初期很高的入渗性能; 由积水产流后供水流量与产流流量之差计算相对较低的土壤入渗性能及犁底层土壤入渗性能。提出了相应的计算模型。用室内模拟试验数据说明了试验装置的使用方法、实验过程和计算方法。测量得到了耕作层土壤入渗性能曲线和犁底层土壤稳定入渗率, 并得到了完整的耕地表层 (耕作层和犁底层) 土壤入渗性能随时间的变化过程。在水量平衡原理的基础上, 通过比较试验总供水量和由土壤入渗性能曲线回归得到的累积入渗量, 得到的数值方法的相对误差小于 10%, 平均近似方法的相对误差小于 35%, 说明该测量方法具有较高的精度。

[0133] 该测量方法和仪器可以方便地应用于野外试验中, 携带方便、操作简单、需水量

少。该测量系统的整个测量过程都是在计算机的控制下自动进行,节省大量的时间、人力和物力,为相关的研究提供了有帮助价值的工具。

[0134] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明技术原理的前提下,还可以做出若干改进和变型,这些改进和变型也应视为本发明的保护范围。

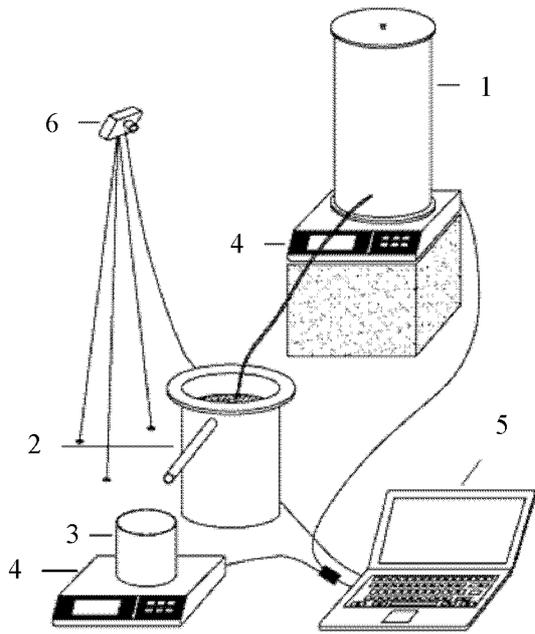


图 1

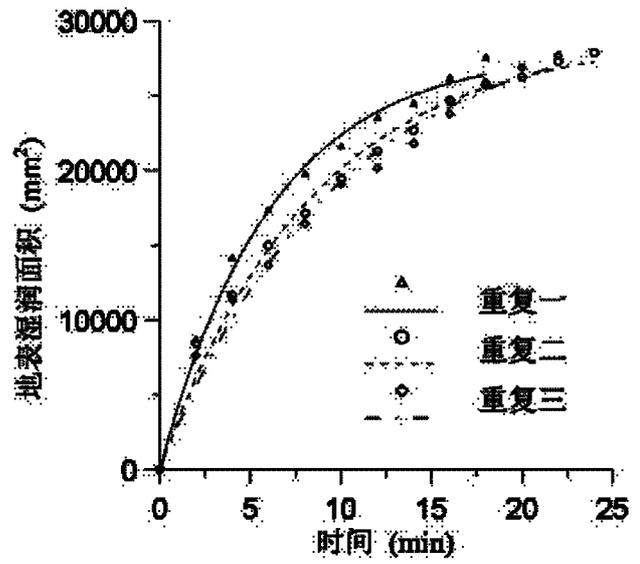


图 2

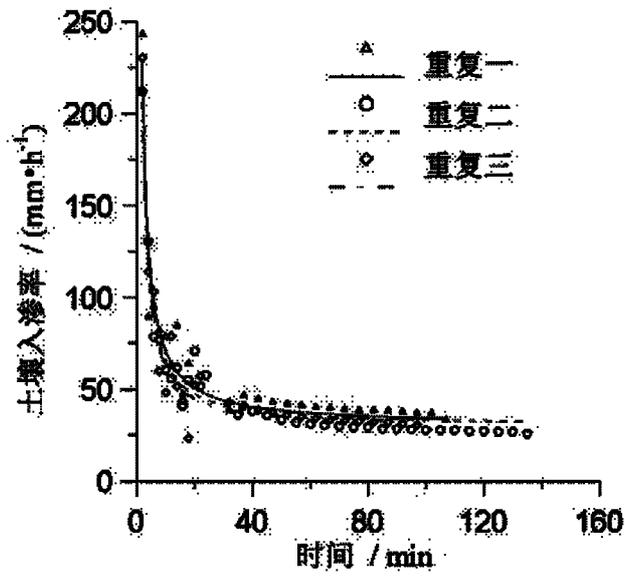


图 3

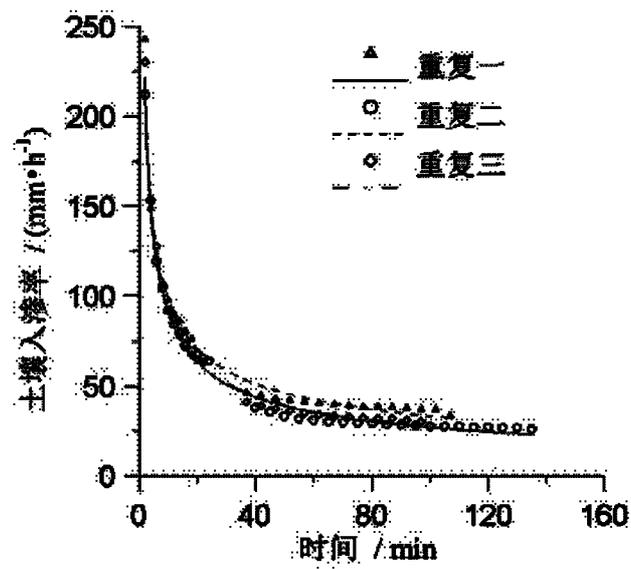


图 4

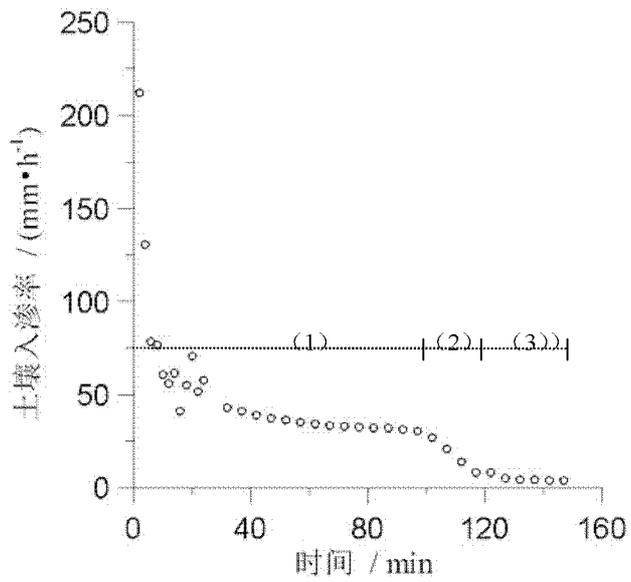


图 5