利用环刀法测定土壤水分精度的影响因素

李朝英[1], 郑 路[1,2]

(1. 中国林业科学研究院 热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600;
2. 广西友谊关森林生态系统国家定位观测研究站, 广西 凭祥 532600)

摘 要: [目的] 探讨环刀法测定土壤物理性质准确性的影响因素,为批量土壤物理性质准确测定提供参考。[方法] 以不同类型土壤为研究对象,采用环刀法测定持水量特性,对环刀浸泡水位、浸泡时间、置砂时间及滤纸对测定结果的影响进行讨论分析。[结果] 水位高于或低于环刀上沿时,土壤均难以达到最大持水量;水位至环刀上沿且浸泡 12～14 h 后土壤持水量趋于最大;环刀放置在砂上 2～2.5 h 避免了重力水干扰,毛管水量测定准确稳定,之后环刀持续置砂 72～76 h,是测定最小持水量的适宜时段。忽略环刀中滤纸的持水重量会对最大持水量及毛管持水量的测定造成一定偏差,去除其重量有利于提高测定精度。[结论] 对现有环刀法测定土壤物理性质的试验条件进行优化改进,降低了误差,检测结果具有代表性及可比性,适用于批量土壤样品的检测分析。

关键词: 环刀法; 土壤; 物理性质; 影响因素

文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2019)02-0118-06 **中图分类号**: S151.92

文献参数: 李朝英, 郑路. 利用环刀法测定土壤水分精度的影响因素[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2): 118-123. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.02.019; Li Chaoying, Zheng Lu. Influencing factors on measurement accuracy of soil water by ring knife method[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(2): 118-123.

Influencing Factors on Measurement Accuracy of Soil Water by Ring Knife Method

Li Chaoying[1], Zheng Lu[1,2]

(1. *Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang, Guangxi* 532600, *China*;
2. *Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang, Guangxi* 532600, *China*)

Abstract: [Objective] The influencing factors of measuring the accuracy of soil physical properties by ring knife were discussed in order to provide reference for accurate determination of physical properties of bulk soils. [Methods] Taking different types of soil as the research object, the characteristics of soil water holding capacity were determined by ring knife method, and the influence of soaking water level, soaking time, sand blasting time and filter paper on the determination results were analyzed. [Results] When the water level was above or below the edge of the ring knife, the soil water holding capacity was difficult to reach the maximum. When the water level was along the edge of the ring knife and the ring knife was soaked for 12～14 h, the soil water holding capacity tended to be the maximum. The ring knife was placed for 2～2.5 h to avoid the interference of gravity water, and the capillary holding capacity was accurate and stable. The ring knife continued to be placed for 72～76 h, and the minimun water holding capacity was representative. Ignoring the water holding weight of the filter paper in the ring knife would cause a certain deviation in the determination of the maximum water holding capacity and the capillary holding capacity, and removing its weight was beneficial to improve the accuracy of the measurement. [Conclusion] This experiment optimized and improved the existing test conditions for determining soil physical properties by ring knife method, and

收稿日期: 2018-09-15 **修回日期**: 2018-10-09
资助项目: 广西自然科学基金项目"马尾松人工林采伐剩余物分解及提升地力研究"(2013GXNSFAA019106)
第一作者: 李朝英(1971—)女(汉族),甘肃省酒泉市人,本科,实验师,主要从事实验室检测分析工作。E-mail: lzying1877@sina.com。
通讯作者: 郑路(1968—)男(汉族),河北省乐亭县人,博士,高级工程师,主要从事森林生态学方面的研究。E-mail: zhengluli@sina.com。

the test results were representative and comparable by reducing errors. It was suitable for the detection and analysis of batch soil samples.

Keywords: ring knife; soil; physical properties; influence factors

土壤物理性质包括土壤结构和孔隙性、土壤水分、空气、热量和土壤耕性等。土壤水分、空气作为土壤肥力的构成要素,直接制约着土壤微生物的活动和矿质养分的转化、存在形态及其供给等。准确测定土壤物理性质对于持续培肥土壤,提高土壤生产力,实现土壤资源可持续利用等具有十分重要的意义[1-3]。目前,林业行标及国标将环刀法作为测定土壤物理性质的标准方法,用于测定土壤密度、最大持水量、毛管持水量、最小持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙、总孔隙度等项目[4-6]。环刀法所需设施简单,易于操作。在国内外由土壤物理性质角度开展土壤肥力、植被生长、土壤改良等方面的诸多研究中,环刀法运用广泛[7-9]。其中,最大持水量、毛管持水量、最小持水量是土壤物理性质测定的基础项目,其测定结果用于计算毛管孔隙度、非毛管孔隙度及总孔隙度等。因此,最大持水量、毛管持水量、最小持水量的测定准确性是土壤物理性质检测的关键[10-12]。至今,有关最大持水量、毛管持水量、最小持水量测定方法方面的讨论分析未见报道,林业行标(森林土壤水分—物理性质的测定 LY/1215-1999)对 GB/T7835-1987 进行了修订,但其方法要点陈述仍不明确,对于批量土壤样品测定缺乏指导性及可操作性。鉴于此,本试验探讨最大持水量、毛管孔隙度、最小持水量的检测条件以及环刀中滤纸及吸持水重量对测定结果的影响,以期提出适宜而明确的检测条件,为批量土壤物理性质准确检测提供参考与指导。

1　材料与方法

1.1　样地概况

试验样地位于广西友谊关森林生态系统国家定位观测站设置在中国林科院热带林业实验中心青山试验场(21°57′—22.19°N,106°39—106°59′E)的人工林。该地区位于南亚热带季风气候区域内的西南部,日照充足,降水充沛,干湿季节明显。年均温度 20.5～21.7 ℃,年降水量 1 200～1 500 mm,主要地貌类型以低山丘陵为主,地带性土壤为红壤。

1.2　试验样品

2017 年 10 月,采用环刀法于试验场人工林样地采集 11 个不同质地的土壤样品,各样点重复 3 次,测定土壤物理性质。同时取土样装入铝盒中密封,以烘干法测定土壤水分含量。另取土样风干后过 10 目筛,测定土壤质地[13]。

1.3　试验仪器

砂盘、水盘、环刀、烘箱、电子天平。

1.4　样品情况和试验方法

所取 11 个土壤样品情况详见表 1。

表 1　样品质地检测结果

样品编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
质地	粉砂壤土	粉砂壤土	粉砂壤土	砂质壤土	壤土	壤土	壤土	黏土	黏土	粉黏土	粉黏土

依据林业行标方法,采样前称取空环刀重(m_0),采样后,将 3 组环刀土样称重得到土壤样品鲜重($m_{鲜}$),去除上盖,放到水盘中,分别加水至低于环刀上沿 1 cm 处(简称半浸)、平齐环刀上沿(简称浸泡)、高于环刀上沿 1 cm 处(简称浸没),分别置于水中 6,12,16 h 后称重(m_1)。环刀取底盖放于砂上,分别在 1,2,3 h 后称量环刀重(m_2)和滤纸重($m_{滤}$),在砂上放置 24,48,72,96 h 后称量环刀重(m_3)和滤纸重($m_{滤}$)。试验数据使用 Excel 软件统计及绘图,并进行单因素方差分析。

$$m_{干}=m_{鲜}/(1+k)$$

$$最大持水量=(m_1-m_{干}-m_0)/m_{干}\times 100\%;$$

$$毛管持水量=(m_2-m_{干}-m_0)/m_{干}\times 100\%;$$

$$最小持水量=(m_3-m_{干}-m_0)/m_{干}\times 100\%。$$

式中:k——烘干法所测得的水分含量。$m_{干}$——环刀中的干土重。

2　结果与分析

2.1　不同浸水水位及浸水时间对土壤最大持水量的影响

由图 1 可见,半浸、浸泡、浸没条件下所测持水量随着时间延长呈增加趋势。3 种浸泡方式在环刀浸水 6 h 所测持水量均偏小,浸水 12 h 所测持水量趋于稳定,浸水 16 h 时所测持水量最大,表明环刀浸水时间偏短,土壤孔隙吸持水量偏低,随着浸水时间的延长,土壤孔隙吸持水量趋于最大。由表 2 可见,环刀浸没与浸泡 12 h 后测得最大持水量随时间变化较小,而半浸 12 h 后所测最大持水量随浸泡时间延长

呈增加趋势。浸水 12 h 和 16 h 时，3 种方式所测最大持水量顺序大体表现为：浸泡＞浸没＞半浸，且不同浸水方式所测最大持水量的 SD 变化范围依次分别为 0.23～0.91，0.11～0.74，0.21～1.77，0.09～1.57，0.44～2.49，0.29～1.13。可见，环刀浸没 12 h，16 h 和半浸 12 h 所测最大持水量离散度较大，精密度差。浸泡 12 h，16 h 和半浸 16 h 所测最大持水量离散度较小，精密度良好。由方差分析可得，环刀半浸 12 h 与浸没 12 h，16 h，半浸 16 h 以及浸泡 12 h，16 h 所测最大持水量有显著性差异，浸没 12 h，16 h，半浸 16 h 与浸泡 12 h，16 h 所测最大持水量有显著性差异，浸没 12 h，16 h，半浸 16 h 所测最大持水量无显著性差异，浸泡 12 h 与 16 h 所测最大持水量无显著性差异。由此可见，最大持水量的测定与环刀浸泡水位及时间均有关系。水浸没环刀，易造成土壤孔隙中空气难以及时排出，延长浸没时间，持水量增加不明显，难以趋于最大。水位低于环刀上沿，土壤中毛管作用强的小孔隙能迅速充分吸持水分，毛管作用稍弱的小孔隙水因水势能低，水重力作用使孔隙水上升速度较慢，延长半浸时间，可增加部分孔隙吸持水量。但大孔隙水因水重力作用而使得水上升高度有限，难以充满孔隙，故半浸方式下随浸水时间延长所测持水量呈增长趋势，但不易趋于最大。水位平齐环刀浸泡 12～16 h，不易产生憋气现象，又因水势能高，有利于孔隙水克服重力作用，保持一定的上升速度，并上升一定高度。土壤孔隙在 12 h 即能充满水，所测持水量趋于最大。为了避免检测干扰，且便于操作，本试验提出测定最大持水量的适宜水位为平齐环刀上沿，适宜浸泡时间 12～14 h。

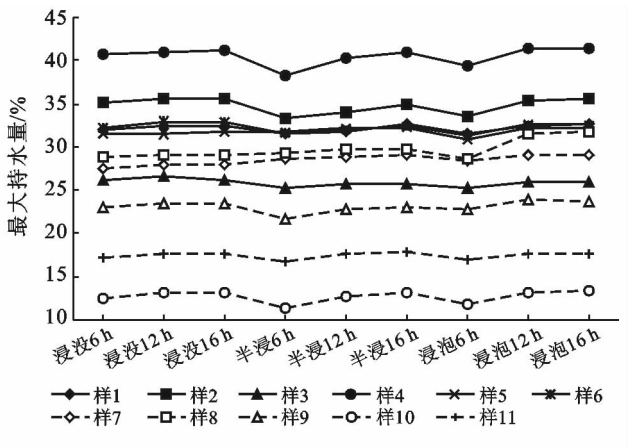


图 1 不同浸泡方法及浸泡时间环刀所测最大持水量

表 2 不同浸水方式在浸水 12 和 16 h 环刀所测最大持水量的比较（n=3）

样号	不同浸水方式					
	浸没 12 h	浸泡 12 h	半浸 12 h	浸没 16 h	浸泡 16 h	半浸 16 h
样 1	32.43＋0.36^{a}	32.54＋0.87^{a}	31.85＋1.59^{a}	32.48＋0.64^{a}	32.62＋0.74^{a}	32.55＋1.13^{a}
样 2	35.5＋1.77^{a}	35.45＋0.4^{a}	33.99＋2.49^{b}	35.65＋1.47^{a}	35.51＋0.49^{a}	35.01＋1.07^{a}
样 3	26.62＋1.06^{a}	25.91＋0.91^{a}	25.65＋0.48^{a}	26.06＋0.87^{a}	25.88＋0.51^{a}	25.71＋0.36^{a}
样 4	41.06＋0.22^{a}	41.37＋0.56^{a}	40.19＋1.06^{a}	41.11＋0.58^{a}	41.44＋0.37^{a}	41.03＋0.89^{a}
样 5	31.65＋1.48^{a}	32.15＋0.49^{a}	32.11＋0.59^{a}	31.69＋1.16^{a}	32.23＋0.32^{a}	32.20＋0.52^{a}
样 6	32.88＋1.72^{a}	32.69＋0.63^{a}	31.89＋1.57^{a}	32.94＋1.57^{a}	32.63＋0.21^{a}	32.35＋0.49^{a}
样 7	28.04＋1.21^{a}	29.02＋0.49^{a}	28.91＋0.77^{a}	27.98＋1.08^{a}	29.06＋0.34^{a}	28.99＋0.67^{a}
样 8	29.14＋0.97^{a}	31.57＋0.51^{b}	29.66＋0.46^{a}	29.11＋0.64^{a}	31.69＋0.67^{b}	29.74＋0.29^{a}
样 9	23.38＋0.21^{a}	23.92＋0.23^{a}	22.90＋0.48^{a}	23.46＋0.09^{a}	23.67＋0.11^{a}	22.98＋0.53^{a}
样 10	13.11＋0.46^{a}	13.23＋0.63^{a}	12.79＋0.76^{a}	13.19＋0.35^{a}	13.29＋0.21^{a}	13.21＋0.41^{a}
样 11	17.71＋0.22^{a}	17.69＋0.29^{a}	17.54＋0.44^{a}	17.67＋0.56^{a}	17.74＋0.37^{a}	17.77＋0.47^{a}

注：表中数据为所测最大持水量＋SD，行间字母相同的表示无显著性差异（p＞0.05），字母不同的表示有显著性差异（p＜0.05）。

2.2 不同置砂时间对毛管持水量测定的影响

由图 2 可见，环刀内土样吸持最大水量后放置在细砂表面，一定时间后可测得毛管持水量。随着置砂时间的延长，毛管持水量呈现逐渐下降趋势，置砂 2 h 后呈稳定趋势。这是因为土壤最大持水包含重力水和毛管水，环刀置砂后，土壤失去水源支持，孔隙中的重力水不受土壤吸附力及毛管力作用，在重力作用迅速渗流。在环刀置砂 1 h 前，重力水渗流速度较快，随着置砂时间延长，重力水渗流速度逐渐减慢。环刀置砂上 2 h 后时，重力水渗流殆尽，所测毛管持水量趋于一致。本试验所用土壤置砂 2 h 后重力水渗流量大小依次为：砂质壤土＞壤土＞粉砂壤土＞黏土＞粉黏土。这是因为砂质壤土、壤土、黏土的孔隙依次减小，重力水渗流速度依次减慢。由表 3 可见，吸持最大水量的环刀土样置砂 1，2，3 h 后，所测毛管持水量 SD 波动范围分别为 0.48～2.07，0.32～1.13，0.29～0.88。环刀置砂 1 h 所测毛管持水量的 SD 较高，置砂 2 和 3 h 所测毛管持水量 SD 降低，且趋于一

致。这说明置砂 2～3 h 所测毛管持水量离散度较小,精密度良好。由方差分析可得,环刀置砂 1 h 与置砂 2 和 3 h 所测毛管持水量有显著性差异,置砂 2 h 与 3 h 所测毛管持水量无显著性差异。可见,置砂 2～3 h 的重力水渗流对毛管持水量测定影响较小,毛管水的移动也未对测定结果产生干扰。置砂上 2 h,3 h所测毛管持水量准确稳定,且具有一定代表性。为了保证检测结果的准确性及可比性,本试验提出毛管持水量适宜测定时段在环刀置砂 2～2.5 h 之间。

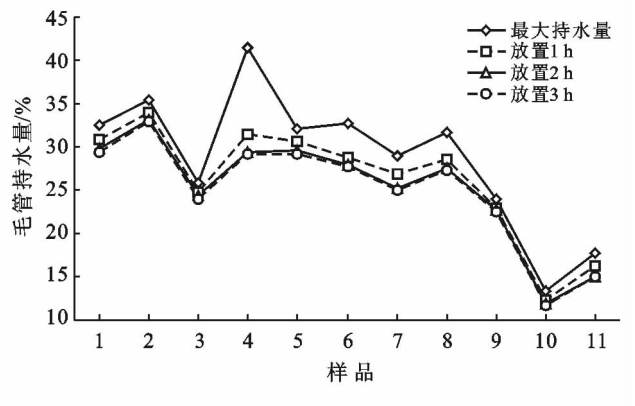


图 2　不同置砂时间环刀所测毛管持水量

表 3　不同置砂时间环刀所测毛管持水量比较(n=3)

样品	置砂时间/h		
	1	2	3
样 1	30.79＋2.07	29.76＋1.13	29.39＋0.88
样 2	33.98＋1.38	33.05＋0.89	32.85＋0.53
样 3	24.79＋1.13	24.34＋0.76	23.99＋0.69
样 4	23.08＋1.32	22.81＋0.63	22.59＋0.55
样 5	30.58＋1.18	29.50＋1.03	29.12＋0.71
样 6	28.84＋1.51	27.96＋0.86	27.81＋0.77
样 7	26.81＋1.68	25.18＋1.02[a]	24.92＋0.39[a]
样 8	28.62＋1.03	27.51＋0.75	27.20＋0.45[a]
样 9	23.00＋0.96	22.70＋0.52	22.46＋0.33[a]
样 10	13.23＋0.48	12.38＋0.32	11.88＋0.29[a]
样 11	16.17＋0.61	15.10＋0.44	14.98＋0.38[a]

注:表中数据为毛管持水量＋SD,以置砂 1 h 所测结果为对照组,行间数据后无字母的表示无显著性差异(p＞0.05),有字母 a 的表示有显著性差异(p＜0.05);以置砂 2 h 所测结果为对照组,行间数据后无字母的表示无显著性差异(p＞0.05),有字母 b 的表示有显著性差异(p＜0.05)。

2.3　不同置砂时间对最小持水量测定的影响

将测定毛管持水量的环刀继续置砂一定时间后可测得土壤最小持水量。由图 3 可见,样 4 在继续置砂 24 h 时持水量较高,置砂 48 h 后持水量趋于稳定。其他土壤样品置砂 24 h 到 48 h 时所测持水量逐渐降低,置砂 72 h 后持水量趋于稳定。土壤毛管水包含毛管支持水及悬着水,毛管支持水借助毛管力上升并存在于土壤毛管中,且易受水位影响。毛管悬着水即最小持水量,其保持在毛管上部,不易受水位影响。因此,失去重力水的环刀再置砂上,因无水源支持,毛管支持水不断向下移动,置砂 72 h 后所测持水量趋于稳定。这说明毛管支持水流失殆尽,仅剩毛管悬着水。砂质壤土毛管支持水向下移动速度快于其他类型土壤,环刀置砂 72 h 时,不同土壤毛管支持水流失量大小依次为:砂质壤土＞壤土＞粉砂壤土＞黏土＞粉黏土。结合上文重力水流失量的比较,说明不同土壤的孔隙大小不同,其持水性也存在一定差异。

由表 4 可见,环刀置砂 24,48,72,96 h 所测最小持水量的 SD 变化范围分别为 0.21～0.76,0.23～0.51,0.23～0.45,0.15～0.39。可见,随着置砂时间增加,土壤最小持水量 SD 逐渐减小,且置砂 48 h 后的 SD 趋于稳定,精密度良好。由方差分析可得,环刀置砂 24 h 土壤最小持水量与置砂 48,72,96 h 均存在显著性差异;置砂 48 与 72 h 所测最小持水量之间无显著性差异;置砂 48 与 96 h 土壤最小持水量间存在显著性差异;置砂 72 与 96 h 所测最小持水量之间无显著性差异。由此可见,环刀置砂 72 h 时,砂质壤土、壤土、黏土等不同类型土壤所测得的最小持水量准确稳定,且有代表性。为了保证批量土壤样品最小持水量的可比性及可操作性,本试验提出将测定毛管持水量后的环刀样继续置砂 72～76 h 为测定最小持水量的适宜时间。

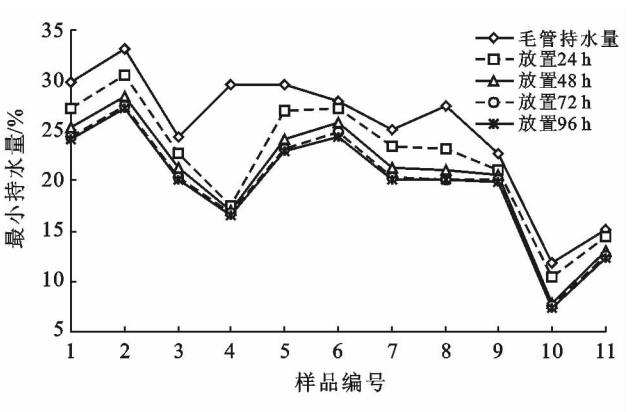


图 3　不同置砂时间环刀所测土壤最小持水量

2.4　滤纸重量变化对持水量的影响

由图 4 可见,试验所用 7 cm 滤纸干重 0.31 g,浸泡 12 h 后滤纸及其吸持水量达 1.11 g,随着置砂时间延长,滤纸吸持水量逐渐减轻。置砂 2,24,48,72 和 96 h 时重量分别为 0.92,0.68,0.55,0.41,0.36 g。按常规样品的干土重 150 g 计,滤纸及其吸持水量在浸泡 12 h后并置砂 2,24,48,72,96 h 时,所测持水量分别

为 0.73%，0.61%，0.45%，0.37%，0.27%，0.24%。可见，未将滤纸及吸持水量去除，所测最大持水量与毛管持水量高于真实值 0.6%以上，误差明显。如上所述，环刀置砂 72～96 h 时，所测最小持水量高出真实值 0.3%以下，影响较小，可忽略不计。

表 4 不同置砂时间环刀所测土壤最小持水量比较(n=3)

样号	置砂时间/h			
	24	48	72	96
样 1	27.28+0.49	25.26+0.46^{a}	24.36+0.34^{a}	24.02+0.22^{ab}
样 2	30.44+0.63	28.43+0.46^{a}	27.52+0.37^{a}	27.16+0.39^{ab}
样 3	22.65+0.56	21.35+0.31	20.38+0.29^{a}	20.05+0.27^{ab}
样 4	17.58+0.76	16.92+0.46	16.73+0.41	16.62+0.36
样 5	26.85+0.65	24.13+0.34^{a}	23.17+0.19^{a}	22.84+0.24^{ab}
样 6	27.22+0.74	25.68+0.51^{a}	24.73+0.43^{a}	24.38+0.21^{ab}
样 7	23.31+0.57	21.30+0.44^{a}	20.43+0.31^{a}	20.11+0.28^{ab}
样 8	23.29+0.21	21.01+0.23^{a}	20.21+0.27^{a}	20.10+0.24^{a}
样 9	21.15+0.55	20.52+0.43	20.02+0.23	19.98+0.35^{a}
样 10	10.33+0.43	7.92+0.49^{a}	7.48+0.45^{a}	7.29+0.39^{a}
样 11	14.43+0.37	12.92+0.26^{a}	12.42+0.17^{a}	12.18+0.15^{a}

注：表中数据为最小持水量+SD，以再置砂上 24 h 所测结果为对照组，行间数据后无字母的表示无显著性差异(p>0.05)，有字母 a 的表示有显著性差异(p<0.05)；以再置砂上 48 h 所测结果为对照组，行间数据后无字母的表示无显著性差异(p>0.05)，有字母 b 的表示有显著性差异(p<0.05)．以再置砂上 72 h 所测结果为对照组，行间数据后无字母的表示无显著性差异(p>0.05)，有字母 c 的表示有显著性差异(p<0.05)。

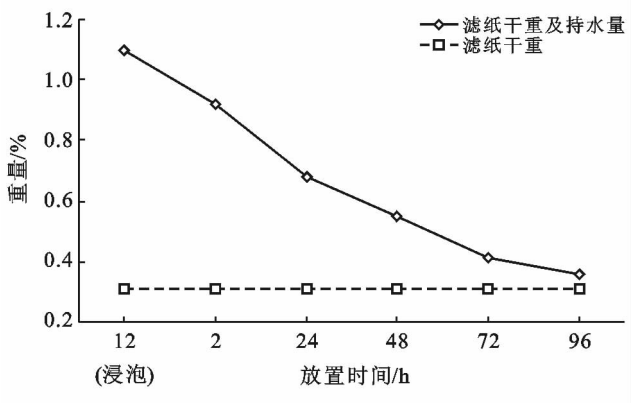


图 4 滤纸放置不同时间的重量变化

3 讨 论

林业行标指出浸泡 12 h(黏重土壤浸泡时间稍长)测定最大持水量，但其所述浸泡时间存在不确定性。本试验结果表明，黏土浸泡 12 h，所测最大持水量准确稳定。黏土的小孔隙较多，其中毛管作用强的孔隙在 12 h 内充满水，管径过小的孔隙因毛管作用较弱或消失，浸泡时间延长，吸持水量有限。有研究指出土壤浸泡时间长，黏粒分散或移动可能造成孔隙堵塞[1,14-15]。本试验提出测定最大持水量的适宜时间，明确指导检测分析，有利于避免误差。尤其对未知质地的批量样品，有较强的可操作性及适用性。

林业行标方法提出毛管持水量测定时机是一个时点概念，不适用于指导批量样品毛管持水量的测定。本试验提出环刀置砂 2～2.5 h 所测毛管持水量不受重力水及毛管水的干扰，是测定适宜时段，这为批量样品准确检测提出了明确可行的时限，可操作性强。农业行标提出将环刀浸放于水位 1～2 cm 的容器中，待吸持水量充分时可直接测得毛管持水量，所测结果具有代表性。但农业行标方法不便于连续测定多项指标，所测结果易受土壤结构及物质组成干扰，与其相比，林业行标方法的检测干扰少，为优选方法。为此，本试验未以农业行标方法测定毛管水量[16-18]。

林业行标方法指出砂土、壤土、黏土最小持水量的测定时间分别是置砂 24 h，48～72 h，4～5 d(96～120 h)。这使得最小持水量的检测操作繁琐。本试验结果表明壤土、黏土等多类型土壤置砂 72 h 后，毛管支持水已流失殆尽，所测最小持水量准确稳定。本试验对多类型土壤最小持水量的测定时间进行统一，有利于提高检测效率。由于本试验未采集到典型砂土，所用的砂质壤土与砂土有一定区别，建议实验室在测定砂土最小持水量时可进行不同放置时间的预试验，以确定最小持水量测定的适宜时间。本试验提出需去除滤纸及吸持水重量，否则对最大持水量及毛管持水量的测定有干扰，尤其对容重较小的土壤样品误差更为明显。而现有研究对此误差常有忽略。

土壤是一种具有复杂孔隙系统的自然体，土壤水受到重力、土粒表面分子引力及水分子引力等各种力的作用，并表现出不同的物理性质，各类土壤水之间的界限很难清晰划分。研究表明，若土壤质地粘紧，则重力水不易排出，甚至会暂时滞留在土壤大孔隙中，而毛管水在空间和时间上则相对稳定。因此，环刀法仍然存在难以避免的误差[1,19]。在测定过程中需准确控制检测条件及操作细节，降低人为误差。例如，为避免重力水迅速流失，测定动作应迅速；称量前务必将滤纸上粘附的砂粒清除干净；环刀置砂期间不剔除其上盖，检测环境保持恒温，减少空气流动，以减少环刀内土壤水分蒸发，避免外界因素对检测的干扰。

4 结 论

为保证准确测定土壤物理性质，本试验提出测定最大持水量的适宜水位为平齐环刀上沿，浸泡时间为

12～14 h,测定毛管持水量的适宜时间为置砂 2～2.5 h,测定最小持水量的适宜时间为持续置砂 72～76 h。在测定最大持水量、毛管持水量时需去除环刀中所用滤纸及吸持水重量,提高检测精度。上述检测条件适用于多类型土壤,检测准确可靠,适用于指导批量样品的检测分析。

本试验所用不同类型土壤在保水性、孔隙性等方面表现出明显的物理特性,具有一定代表性。本试验对现有方法所述检测条件中的不确定性进行优化与完善,指出检测误差产生原因,提高了环刀法的可操作性及准确性,为检测批量土壤物理性质提供了有效可行的指导。

[参 考 文 献]

[1] 依艳丽. 土壤物理研究法[M]. 北京:北京大学出版社,2009.

[2] 邵明安,王全九,黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京:北京高等教育出版社,2006.

[3] 王果. 土壤学[M]. 北京:高等教育出版社,2009.

[4] 中国林业科学研究院林业研究所森林土壤研究室. LY/T1215-1999 森林土壤水分—物理性质测定[S]. 北京:中国标准出版社,1999.

[5] 中国林业科学研究院林业研究所森林土壤研究室. GB/T7835-1987 森林土壤水分—物理性质的测定[S]. 北京:中国标准出版社,1999.

[6] 丁绍兰,杨宁贵,赵串串. 青海省东部黄土丘陵区主要林型土壤理化性质[J]. 水土保持通报,2010,30(6):1-6.

[7] 王政权,王庆成. 森林土壤物理性质的空间异质性研究[J]. 生态学报,2000,20(6):945-950.

[8] 庞学勇,包维楷,张咏梅. 岷江上游中山区低效林改造对土壤物理性质的影响[J]. 水土保持通报,2005,25(5):12-16.

[9] 李灵,张玉,孔丽娜. 武夷山风景区不同林地类型土壤水分物理性质及土壤水库特性[J]. 水土保持通报,2011,31(3):60-65.

[10] 吕贻忠,李保国. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2006.

[11] 迟春明. 土壤水分常数与土壤物理性质研究[M]. 四川成都:西南交通大学出版社,1970.

[12] 张万儒,许本彤. 森林土壤定位研究方法[M]. 北京:中国林业出版社,1986.

[13] 李朝英,郑路. 土壤颗粒悬液搅拌对土壤质地分析的影响[J]. 水土保持通报,2017,37(6):256-260.

[14] 海兴春,陈健飞. 土壤地理学[M]. 北京:科学出版社,2016.

[15] 李天杰. 土壤地理学[M]. 北京:高等教育出版社,2005.

[16] 吉利明,邱军利,夏燕青,等. 常见黏土矿物电镜扫描微孔隙特征与甲烷吸附性[J]. 石油学,2012,33(2):249-256.

[17] 农业部. NY/T1121.22-2010,土壤田间持水量测定:环刀法[S]. 北京:中国农业出版社,2011.

[18] 伍海兵,李爱平,方海兰,等. 绿地土壤孔隙度检测方法及其对土壤肥力评价的重要性[J]. 浙江农大学学报,2015,32(1):98-103.

[19] 孙向阳. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,2005.

(上接第 117 页)

4 结 论

(1) 针对延河水质进行评价研究,在满足科学性、合理性的前提下,使用由氨氮、总磷、石油类、化学需氧量这 4 个因子组成指标体系,可以将评价工作简化,操作性更强。

(2) 2013—2017 年中,延河水质的内梅罗指数逐年上升,水质状况逐年下降。

(3) 延河水质变化中,氨氮在评价指标体系中的贡献率逐年增大,2017 年已经达到 38.7%,远超其他污染物。改善延河水质,应该主要控制氨氮的总量。

(4) 延河生态水量是影响延河水质的主要因素,改善河流的生态水补给状况同时控制入河污染物总量是延河水质健康的保障。

[参 考 文 献]

[1] 《中国河湖大典》编纂委员会. 中国河湖大典:黄河卷[M]. 北京:中国水利水电出版社,2014.

[2] 杨宁,冀德刚,李双金. Pearson 相关分析法在京津冀空气质量分析中的应用[J]. 农业科学与技术,2015,16(3):590-592.

[3] 李名升,张建辉,梁念,等. 常用水环境质量评价方法分析与比较[J]. 地理科学进展,2012,31(5):617-624.

[4] 国家环境保护总局. GB3838-2002 地表水环境质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,2002.

[5] 万黎,毛炳启. Spearman 秩相关系数的批量计算[J]. 环境保护科学,2008,34(5):53-55,72.

[6] 谈旭初. 依据污染分担率划分地表水污染类型的方法[J]. 环境科学与管理,2009,34(4):7-8,12.

[7] 高红杰,郑利杰,嵇晓燕. 典型城市地表水综合评价方法研究[J]. 中国环境监测,2017,33(5):55-60.