

李旺霞,陈彦云. 土壤水分及其测量方法的研究进展[J]. 江苏农业科学,2014,42(10):335-339.

# 土壤水分及其测量方法的研究进展

李旺霞<sup>1</sup>, 陈彦云<sup>1,2</sup>

(1. 宁夏大学/西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏大学生命科学学院, 宁夏银川 750021)

**摘要:**简述了土壤水分的形态、土壤含水量的表示方法以及土壤含水量测定方法的分类与应用原理。随着土壤物理学的发展和人们对土壤水分的深入研究,土壤水分含量的测定方法也越来越多,笔者结合国内外土壤水分测定方法的研究状况,对土壤水分含量的测量方法进行了较系统的归纳总结,其中主要介绍了烘干法、中子法和介电法[时域反射法(TDR)、频域反射法(FDR)、驻波率法(SWR)]测量土壤水分含量的原理和步骤,并对这3种方法进行了比较,提出了我国当前土壤水分测定中存在并值得注意的问题。

**关键词:**土壤水分;形态;含量;烘干法;中子法;介电法;原理

**中图分类号:** S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)10-0335-04

水分是天然土壤的一个重要组成部分,在全球储水量中,包气带土壤水约有 165 000 亿  $\text{m}^3$ <sup>[1]</sup>,而我国土壤水分总储量为 33 550 亿  $\text{m}^3$ <sup>[2]</sup>。土壤水不但数量大,而且与人类环境和生活密切相关<sup>[3]</sup>,土壤水是一切作(植)物赖以生存的基本条件,影响土壤的物理性质,制约土壤中养分的溶解、转移和微生物的活动,是衡量土壤肥力的一个重要指标。因此,研究和了解土壤水分,在理论上和生产上都有至关重要的意义。土壤水分测定方法多达几十种,目前农田土壤水分的直接测定法主要有烘干法(土钻法)<sup>[4]</sup>,间接测定法有中子法、张力计法和介电法等。

## 1 土壤水分及其含量测定方法的分类

土壤水存在于土壤孔隙中,尤其是中小孔隙中,大孔隙常被空气所占据<sup>[5]</sup>,穿插于土壤孔隙中的植物根系从含水土壤孔隙中吸取水分用于蒸腾作用<sup>[6]</sup>。土壤中的水气界面存在湿度梯度,温度升高,梯度加大,因此水会变成水蒸汽蒸发逸出地表。土壤水通过蒸腾和蒸发2条途径进入大气。表层的土壤水受到重力会向下渗漏,在地表有足够水量补充的情况下,土壤水可以一直渗入到地下水位,继而可能进入江、河、湖、海等地表水。

### 1.1 土壤水分形态

从以往一些分类方法看,主要是根据土壤水的受力情况对其形态进行分类的,这些力主要包括吸附力、吸着力、毛管力和重力。当讨论土壤水的形态时,实际上就是按照这些力区分出某一部分水分究竟处于哪种力作用之下。尽管这种分类方法在理论上是不够严密的,例如,土壤水中按形态分类有一种水分形态称之为重力水。但就土壤水而言,不是其中一部分而是全部都受到重力场的作用,所以实际上都是重力水。

虽然如此,但依然认为土壤水的形态分类还是把土壤水这一在土壤形成中起重要作用的因素进行了定性分类,从而使大家能够更深刻地凭借这一形态分类来评价土壤水分的生态条件,因此至今土壤水的形态研究仍具有科学价值。

罗戴在总结和评述了许多研究者关于土壤水形态分类的论点的基础上进行了大量的具有科学价值的工作,他将土壤水分分为6种形态,即结晶水、固态水、气态水、紧束缚水、松束缚水和自由水(表1)<sup>[7]</sup>。

### 1.2 土壤水分含量的表示方法

一般所说的土壤水分实际上是指用烘干法在 105 ~ 110 °C 温度下能从土壤中被驱逐出来的水<sup>[8]</sup>。通常用土壤含水量来表示土壤中水分的多少。土壤含水量包括水分质量含水量和容积含水量2种,分别表示为:(1)土壤水质量含水量。土壤中实际所含的水分质量占烘干土质量的比例,即

$$W = (m_1 - m_2) / m_2 \times 100\% \quad (1)$$

式中:W 为土壤含水量,% ;  $m_1$  为样土湿质量; $m_2$  为样土烘干质量。

(2)土壤水容积含水量。指土壤水分容积占单位土壤容积的比例,即

$$W_{\text{容}} = W \times P \quad (2)$$

式中: $W_{\text{容}}$  为土壤容积含水量,% ; P 为土壤容重,即单位体积原状土体的干土质量。

土壤饱和含水量、田间持水量和萎蔫系数是土壤含水量的3个重要指标<sup>[9]</sup>。其中,土壤饱和含水量表明该土壤最多能含多少水;田间持水量是土壤饱和含水量减去重力水后土壤所能保持的水分,重力水基本上不能被植物吸收利用;萎蔫系数是植物萎蔫时土壤仍能保持的水分,这部分水也不能被植物吸收利用。田间持水量与萎蔫系数之间的水称为土壤有效水,是植物可以吸收利用的部分<sup>[10]</sup>,一般为田间持水量的60%时,就可以采取措施进行灌溉。

### 1.3 土壤水分测定方法的分类

随着土壤物理学的发展和人们对土壤水分的深入研究,土壤水分含量的测定方法也越来越多<sup>[11]</sup>。土壤水分含量的测定方法大致可分为取样测定法和定位测定法两大类。其中,取样测定法包括物理法[烘干法(恒温烘干法、乙醇燃烧

收稿日期:2013-12-09

基金项目:国家星火计划(编号:2013GA880001)。

作者简介:李旺霞(1989—),女,甘肃静宁人,硕士研究生,主要从事植物生理生态研究。E-mail:gsliwangxia@163.com。

通信作者:陈彦云,研究员,主要从事植物生理研究与教学工作。

E-mail:nxchenyy@163.com。

表 1 土壤水的形态分类<sup>[8]</sup>

分类名称	作用力	存在方式与运动方式
结晶水		
固态水		
气态水	水汽压差	以水汽形态存在于土壤空气中,运动方式包括:(1)自绝对水汽压较高的部位主动地向水汽压较低的部位以气态运动;(2)随着气流被动地运动
紧束缚水	土粒的吸附力	在土粒表面形成薄膜并成定向排列,其厚度约为几个水分子直径;形成紧束缚水时放出湿润液,这种水分只能成为气态时移动
松束缚水	吸着力	水分在土粒上成定向排列,并围成薄膜,其厚度可达几十个水分子直径,甚至达到几百个水分子直径;这种水在吸着力影响下从一个颗粒向另一个颗粒缓慢运行
自由水		
(1)触点水	毛管力	常存在于中、粗粒土壤中
(2)吸着禁闭自由水	吸着力	以单独的微积聚形式存在于细粒状土壤和母质中;被束缚水的联结带所隔开
(3)毛管悬着水	毛管力	当湿度大于田间持水量时,存在于层次性土壤和母质层中,也可存在于均质土壤中
(4)渗透重力水	受占优势的重力影响	当湿度高于田间持水量时,存在于任何机械组成的土壤和母质层中
(5)支持重力水		当湿度大于田间持水量时,存在于任何机械组成的土壤和母质中,在透水性较大的土层下面是透水性较小的土层
A. 径流支持重力水	占优势的重力作用下	在不透水层上,沿斜坡向下流动
B. 停滞支持重力水	不透水层的阻力保持	处于凹的或平的不透水层上,不流动
C. 毛管上升水	毛管力	土壤水向上运行到耗水表面

法、红外线法)、实容法、比重法、称重仪法蒸汽压法、离心机法、压力板法、超声波法、冰点下降法]和化学法(碳化钙法、侵入法、浓硫酸法),定位测定法包括非放射性法|电测法[介电法(时域反射法、时域传播法、频域反射法、驻波率法)、电容法、微波法、电阻法、极化法、电位差法]、张力计法、热电偶法、热传导法、张力计法、热电偶法、热传导法、遥感法、水银温度法|和放射性法[ $\gamma$ 反射法(中子法)、 $\gamma$ 透射法(中子- $\gamma$ 射线法)、 $\gamma$ 散射法(中子源法)、 $\gamma$ 双源法(中子透射法)]<sup>[9]</sup>。

2 3种常见测量方法的应用原理

2.1 烘干法

烘干法包括经典烘干法和快速烘干法<sup>[12]</sup>。经典烘干法是目前国际上仍在沿用的测定土壤水分含量的标准方法,该方法的操作过程为:在田间地块选择代表性的取样点,按照观测规范要求深度分层取得土样,将土样放入铝盒并立即盖好,以减少水分蒸发对测量结果的影响。对装有土样的铝盒进行称重,记为  $w_1$ ;打开盖子,置于烘箱内,将温度设为 105 ~ 110 ℃ 对土样烘干 6 ~ 8 h,直至土样质量不再变化,对于土及铝盒进行称重,记为  $w_2$ ,则所测土层的土壤质量含水量的计算公式可表示为

$$\theta_m = (w_1 - w_2) / (w_2 - w_3)。$$
 (3)

式中: $\theta_m$  为土层第  $m$  次测得的土壤质量含水量, $w_3$  为空铝盒质量,一般进行 3 次以上的重复测定,取平均值作为取样土层的土壤质量含水量。

快速烘干法包括红外线烘干法、微波炉烘干法、乙醇燃烧法等。这些方法虽可缩短烘干时间和测定时间,但需要特殊设备或消耗大量药品,也不能避免由于每次取出土样和更换位置等带来的误差。

2.2 中子法

中子法在 20 世纪 50 年代用于测量土壤含水量<sup>[13]</sup>。Beicher 等最先使用中子探针,而 Gardner 和 Kirkham 阐述了中子法所依据的原理<sup>[14]</sup>。放射性元素在衰变的过程中,其原

子核会不断地发射出快中子,快中子和水中氢核碰撞后变成慢中子,并在放射源周围做不定向运动,形成一个球状的慢中子云。慢中子云的密度与土壤含水量之间存在密切的相关性<sup>[15]</sup>,即土壤含水量越高,氢越多,产生的慢中子数也就越多。因此,通过仪器中的粒子计数装置将慢中子云的有关数量特征记录下来,就可以准确地确定出慢中子计数值与土壤含水量之间的相关关系。土壤含水量一般在 0 ~ 35% (容积含水量)之间变动,在此范围内土壤含水量与慢中子计数值之间是一般线性关系,可用下式表示:

$$\theta = a + bN。$$
 (4)

式中: $a$ 、 $b$  为常数,与土壤的理化性质有关; $\theta$  为土壤的容积含水量, $N$  为中子仪粒子计数装置在土壤中的计数率与在水体中或特定的介质的计数率之比<sup>[16]</sup>。

Hewlett 等对中子法的测量误差从不同角度进行了分析,发现仪器因素和标定因素对测量结果影响很小,而且还可以采取一定的措施来减小误差<sup>[17-20]</sup>。田间水分含量测定误差的主要来源是土壤湿度的空间变异(位置因素)。因此,在测量时应采取一定的措施尽量减小由于土壤质地的不均匀或土壤湿度的空间变异性而造成的误差<sup>[21]</sup>。

2.3 介电法

最先对土壤的介电特性作出系统研究的是前苏联学者 Chemyak,他在 1964 年出版的《湿土介电特性研究方法》引起了世界的关注。在此基础上,土壤的介电特性迅速应用于测量土壤含水量的方法技术中,而且具体操作方法千差万别。其中,高频电容探头测量法、甚高频晶体管传输线振荡器测量法、微波吸收法、时域反射法(包括时域传播法)、频域反射法(包括频域分解法)、驻波率法(也有学者将其归入频域反射法)等测量方法都属于基于土壤介电特性的土壤含水量测量方法<sup>[22]</sup>。

2.3.1 时域反射仪(time domain reflectometry, TDR) TDR 法利用电磁波在不同介质中的传播速度的差异来测定土壤含水量。TDR 法是 20 世纪 80 年代初发展起来的一种测定方

法,在国外已较普遍使用,国内的研究机构也开始引进和开发 TDR。TDR 土壤水分测量系统具有方便、快速、精确、不扰动土壤等优点,被广泛应用于现代农田土壤水分的监测。Topp 最早发展 TDR 法,并认为当温度在 10~36℃、实际体积含水量在 0~35% 变化时,TDR 测量值不受土壤质地、容重、温度等物理因素的影响<sup>[23]</sup>。而要求精度较高时,TDR 测量值则受到质地、容重、温度等物理因素的影响。

土壤水分对土壤介电特性的影响很大。20℃ 时自然水的介电常数( $K_a$ )为 80.36,比空气( $K_a=1$ )或土壤( $K_a=2\sim5$ )大得多,土壤基质中土壤水分的介电常数处于绝对支配地位<sup>[24]</sup>。当获得土壤介电常数( $K_a$ )和土壤体积含水量( $\theta_v$ )之间的经验关系后,便可以很容易地由土壤介电常数推算出土壤体积含水量。TDR 正是基于以上的思想,根据电磁波在介质中的传播频率计算出土壤的介电常数( $K_a$ ),从而利用经验公式得到土壤体积含水量。 $K_a$  在电磁波频率为 1 MHz~1 GHz 时,与电磁波在电极(长度  $L$ )中往复的传播速度( $v$ )呈如下关系:

$$K_a = -(a/v)^2 = (ct/2L)^2. \quad (5)$$

式中: $c$  为光速, $c=3\times10^8$  m/s; $t$  为电磁波的传达时间,s; $v$  为电磁波的传播速度,m/s; $L$  为 TDR 探头长度,cm。电磁波在各点的反射很明显,可以很准确地计算出  $t$ ,从而可用式(5)计算出  $K_a$ ,表 2 为主要土壤成分的介电常数。Topp 等用 TDR 等测定了电磁波的传播时间,并得出该传播时间与土壤体积含水量( $\theta_v$ )之间关系的经验公式<sup>[25]</sup>:

$$\theta_v = -5.3 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-2} \times K_a - 5.5 \times 10^{-4} K_a^2 + 4.3 \times 10^{-6} \times K_a^3 (\theta_v \leq 0.6). \quad (6)$$

式中: $\theta_v$  具有  $\pm 0.002$  的准确度和  $\pm 0.01$  的精确值<sup>[26]</sup>。但该经验关系只适用于当  $K_a \rightarrow 1$  或  $K_a \rightarrow 80.36$  (20℃) 时,且主要适用于沙性土壤,对有机碳含量多或重黏土则需要重新标定<sup>[27]</sup>。具体测量时,将同轴电缆线末端波导棒(3 根不锈钢棒)插入土壤中,如果要测定土壤中某一深度的含水量,则须将波导棒事先水平地埋入这一深度,与电缆相连的主机可随时显示出 256 个测点数据,并可连续记录和储存数据。

表 2 主要土壤成分的介电常数<sup>[30]</sup>

物质	介电常数
空气	1.0
水(20℃)	80.0
冰(-5℃)	3.0
玄武岩	12.0
花岗岩	7.0~9.0
砂岩	9.0~11.0
干壤土	3.5
干沙	2.5

利用 TDR 法连续测量土壤含水量的同时,还可得到土壤的体积电导率<sup>[28-29]</sup>;由土壤中溶液的电导率则可精确推算出土壤溶液的盐浓度。TDR 法传感器的探头多为探针式、圆柱式等,可以埋设在土壤剖面连续测量,也可以与专用测量仪表配合作移动巡回测量。

### 2.3.2 频域反射仪(frequency domain reflectometry, FDR)

FDR 法是通过测量传感器在土壤中因土壤介电常数的变化而引起频率的变化来测量土壤的水分含量,这些变化转变为

土壤含水量对应三次多项式关系的电压信号。荷兰 Wageningen 农业大学学者 Hilhorst 通过大量的研究,在 1992 年提出了频域分解方法(frequency domain decomposition),该方法利用矢量电压测量技术在某一理想测试频率下将土壤的介电常数  $K_a$  进行实部和虚部的分解,通过分解出的介电常数虚部可得到土壤的电导率,由分解出的介电常数实部换算出土壤含水量。

FDR 型土壤水分监测仪是一种利用 LC 电路的振荡,根据电磁波在不同介质中振荡频率的变化来测定介质的介电常数  $\epsilon$ ,进而通过一定的对应关系反演出土壤水分  $\theta_v$  的仪器<sup>[31]</sup>。该仪器安装时要垂直植入土层中,其核心为内部的一单杆多节式传感器,可以根据需要增加或减少传感器的数量,也可以通过调整传感器的位置来测量不同深度的土壤含水量,外部有对电磁波透明的 PVC 材质所制造的保护套管,可防止水或其他流体干扰内部的电子元器件影响监测结果。FDR 的每组传感器都由 2 个铜环构成,相当于 LC 振荡电路的正负 2 个极板,LC 振荡电路的频率( $F$ )表达式为:

$$F = \frac{2\pi}{\sqrt{LC}}. \quad (7)$$

式中: $\pi$  取 3.14。LC 振荡电路的频率变化受电感( $L$ )与电容( $C$ )变化的影响,由于此仪器采用固定的电感值,因此振荡频率的变化取决于电容的改变,而电容的改变受到 2 个铜环之间套管外的土壤部分影响,所以通过对频率的分析就可以反演出土壤的含水量。

由于水的介电常数远远大于土壤基质中其他材料和空气的介电常数,因此土壤的介电常数主要依赖土壤的含水量,这也是能够用 FDR 法测量土壤含水率的先决条件<sup>[32]</sup>。

2.3.3 驻波率法(standing-wave ratio, SWR) 基于驻波率原理的土壤水分测量方法与 TDR 和 FDR 等 2 种土壤水分速测方法一样,同属于介电法<sup>[33]</sup>。驻波率法是基于无线电射频技术中的驻波率原理的土壤水分测量方法,不再利用高速延迟线测量入射-反射时间差  $\Delta t$  和拍频(频差),而是测量它的驻波比,试验结果表明三态混合物介电常数  $K_a$  的改变能够引起传输线上驻波比的显著变化。由驻波比原理研制出的仪器在成本上有很大幅度的降低。频域反射法和驻波率法传感器的探头多为探针式,使用方法与针式 TDR 类似,可以埋设在土壤剖面连续测量,也可以与专用测量仪表配合进行移动巡回测量。

### 2.4 3 类方法的比较

通过对几种土壤水分测量方法的研究发现,在测定土壤含水量的诸多方法中,烘干法简单易行,工具均为常规农气观测设备,成本低,且测定精度较高,一直被认为是测量土壤含水量中最经典的基本方法。但是,烘干法对样品从烘干至恒重需要的时间较长,不能及时有效地得出结果;采样过程中在田间留下的取样孔会切断作物的某些根,干扰田间土壤水分的连续性并影响土壤水分运动;另外,烘干法定期测定土壤含水量时,由于第 1 次取样对土壤的破坏,不能周期性地在原样地反复取样,而天然土壤具有空间变异性,从而给测定结果带来了一定的误差。这些不足决定了烘干法不宜用来进行长期的现场土壤含水量测定。

与烘干法相比,中子法可以在原样地的不同深度上周期

性地反复测量且不会破坏土壤,测定水分含量范围广,具有连续性,测定速度快,没有滞后现象,而且可以自动记录数据。但是,中子仪的垂直分辨率较差,在测定降低含水量和表层土壤水时,云球半径较大或云球范围超出土壤,快中子则离开土壤而损失掉,这样会造成较大的误差。另外,由于中子有很强的穿透能力,其辐射会危害人体健康。

利用土壤的介电特性测量土壤水分是一种行之有效、快速、简便、可靠的方法。现在比较常用的是经济型的频域反射法、驻波率法和技术更先进的时域反射法。它们都具有技术成熟、精度高、便于携带、可连续原位测定及无辐射等优点,在土壤水分测量方法方面表现出良好的发展势头。其中,利用 TDR 法测定土壤含水量,在测量过程中可以不破坏土壤原状结构,操作简便,能长期连续工作。TDR 法的优越性是土壤水分和溶质含量可以同时在一个体积元中测定。但 TDR 法在测量高有机碳含量、高 2:1 型黏土矿物含量、容重特别高或特别低的土壤时,输入电磁波的能量耗散较大,从而导致反射讯息模糊,容易造成数据失真。因此,在使用 TDR 测量特定土壤的含水量之前,预先标定其与实际土壤含水量的关系是很有必要的<sup>[34]</sup>。

### 3 总结与展望

土壤水分作为作物生长的要素之一,对作物的生理活动起着至关重要的作用<sup>[35]</sup>,未来土壤水分研究在基础理论上进一步完善和发展。随着科学技术的发展,测量土壤水分的方法越来越多,它们的应用原理、使用方法以及测定结果等方面均存在差异。每一种方法都有其适用范围,因此在选用测量方法时,一定要有针对性,既要考虑其实用性,又要考虑其经济性。烘干法是最传统的方法也是最常用的方法,但烘干法只能测定土壤质量含水量,必须已知土壤容重后才能求得体积含水量或土体贮水量,而且因为土样不能原位复原,所以用于监测土壤水分动态变化较难。中子法适用于土壤水分的大范围连续定位动态观测,但中子探头的“热中子云球”的半径随土壤含水量的变化而改变,而且辐射大,所以其应用受到限制。土壤的含水量与土壤的电介常数之间存在一种对应关系,介电法应用被测介质中表观介电常数随土壤含水量变化而变化这一原理测定土壤含水量,是一种简单快速、行之有效的方法。

### 参考文献:

- [1] Leningrad M. World water balance and water resources of the earth [C]//Hydrometeorological Publishing. Russian;USSR Committee for the International Hydrological Decade,1974;4900-4916.
- [2] 刘昌明. 中国水量平衡与水资源储量的分析[C]//中国地理学会第三次全国水文学术会议论文集. 北京:科学出版社,1986:113-118.
- [3] 张北赢,徐学选,李贵玉,等. 土壤水分基础理论及其应用研究进展[J]. 中国水土保持科学,2007,5(2):122-129.
- [4] 周钟瑜. 土壤水分测定方法[M]. 北京:水利电力出版社,1986:64-86.
- [5] 张磊. 草地雀麦(*Bromus riparius*)对北京石灰性褐土地区水土保持作用及其机理研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2009:8-56.
- [6] 姜汉侨. 植物生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2004:115-122.
- [7] 罗戴 A. 土壤水[M]. 巴逢辰,译. 北京:科学出版社,1964:98-157.
- [8] 杨文治,邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京:科学出版社,2000:67-81.
- [9] 邓英春,许永辉. 土壤水分测量方法研究综述[J]. 水文,2007,27(4):20-24.
- [10] 曹恭,梁鸣早. 平衡栽培体系中的水分[J]. 土壤肥料,2005,4(3):1-4.
- [11] 李炎,王丹. 不同土壤水分测定方法的比较研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(17):9110-9112.
- [12] 陆枫,胡志洪,胡毅恒. 土壤水分测定方法研究[J]. 企业导报,2012(23):270-273.
- [13] Gardner W, Kirkham D. Determination of soil moisture by neutron scattering[J]. Soil Science,1952,73:391-401.
- [14] 赵兴安. 中子法测定土壤含水量简介[J]. 黄河水利教育,1995,3(3):39-40,28.
- [15] 张龙. 滴灌核桃蒸散量及土壤水势对生理指标影响的研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2010.
- [16] Visvalingam M, 美永清. 中子法测定土壤水分含量[J]. 土壤学进展,1979(6):46-50.
- [17] Hewlett J D, Douglas J E, Clutter J L. Instrumental and soil moisture variance using the neutron - scattering method[J]. Soil Sci,1964(97):19-24.
- [18] Sinclair D F, Williams J. Components of variance involed in estimating soil water content and water change using a neutron moisture meter[J]. Aust J Soil Res,1979,17:237-247.
- [19] Haverkamp R, Vauclin M. Error analysis in estimating soil water content from neutron probe measurements, local standpoint[J]. Soil Science,1984,137(2):78-90.
- [20] 陈志雄, Michel V. 封丘地区土壤水分平衡研究 II. 中子探管法测定土壤含水量的误差分析[J]. 土壤学报,1990,27(3):309-317.
- [21] 王贵彦,史秀捧,张建恒,等. TDR 法、中子法、重量法测定土壤含水量的比较研究[J]. 河北农业大学学报,2000,23(3):23-26.
- [22] 孙大成. 公路路基渗水性测量方法研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2009:9-58.
- [23] Tanji K K. Agricultural salinity assessment and management[R]. ASCE Manual and Reports on Engineering Practice,1990:619.
- [24] 李道西,彭世彰,丁加丽,等. TDR 在测量农田土壤水分中的室内标定[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(1):249-252.
- [25] Topp G C, Davis J L, Annan A P. Elect romagnetic determination of soil water content; measurement in coaxial transmission lines[J]. Water Resources Research,1980,16:574-582.
- [26] 祝艳涛,钱天伟,但德忠. 时域反射仪结合土钻法测定土壤容重[J]. 资源开发与市场,2006,22(3):213-215,219.
- [27] 吴月茹,王维真,晋锐,等. TDR 测定土壤含水量的标定研究[J]. 冰川冻土,2009,31(2):262-267.
- [28] Dalton F N, Herkelrath W N, Rawlins D S, et al. Time - domain reflectometry; simultaneous measurement of soil water content and electrical conductivity with a single probe[J]. Science,1984,224(4652):989-990.
- [29] Dirksen C. Soil physics measurements[M]. Germany: Catena Verlag,1999.

唐玲,高玉福,李倩中,等.苏州东太湖湿地一期保护开发概念性规划[J].江苏农业科学,2014,42(10):339-342.

# 苏州东太湖湿地一期保护开发概念性规划

唐玲<sup>1</sup>,高玉福<sup>2</sup>,李倩中<sup>1</sup>,荣立苹<sup>1</sup>,李淑顺<sup>1</sup>

(1.江苏省农业科学院观光农业研究中心,江苏南京 210014; 2.延边大学农学院,吉林延吉 133002)

**摘要:**苏州东太湖湿地保护开发规划依托显著的自然地理优势、得天独厚的湿地资源、苏州市东山镇的人文景观、水乡风情和良好的生态外环境,从指导思想、目标定位、总体布局、功能分区、专项规划等入手,详细介绍规划设计的理念与手法及开发建设的思路,建议将东太湖湿地建成华东地区规模最大、效益最好、生态和谐、布局合理的湿地区域,以进一步带动当地旅游产业的发展。

**关键词:**苏州;东太湖湿地;保护开发;生态规划

**中图分类号:** F323.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)10-0339-04

随着太湖流域经济的快速发展,太湖受到过度开发建设的威胁,农业面源污染越来越严重,2010 年实施的东太湖退垦还湖工程,由于城市化进程中规划不合理、长期缺乏管理,湿地受污染情况愈来愈严重,降低了湿地的生态及社会服务功能<sup>[1]</sup>。湿地因生境条件的改变,当地物种存活率降低,严重破坏了湿地生物的多样性。另外,野生动物栖息地面积不断减少,增加了城市湿地保护和恢复的难度。因此,如不对东太湖湿地加以保护,这些宝贵的资源将丧失殆尽。为切实保护、开发利用好东太湖湿地资源,现编制《苏州市东太湖湿地保护开发规划》作为区域内各项湿地保护、开发建设工作的指导性文件,为其他部门相关的专项规划及进一步的详规提供参考。

## 1 项目背景

### 1.1 项目概况

苏州市东太湖湿地(图 1)位于苏州东山镇最南端,东、西茭咀一带,北至新环山公路,占地面积 23.3 km<sup>2</sup>。项目区属于东太湖地域,气候属亚热带,受太湖小气候环境影响,四季温和,雨水充沛,土壤肥沃,年平均气温 16℃,无霜期 298 d,自然条件得天独厚。列入本次一期规划的湿地位于东南端,呈三角

形,面积约 6.7 km<sup>2</sup>,东、南方向分别与吴江、浙江湖州隔湖相望,北面为太湖大堤,西面与人工湿地-太湖大闸蟹养殖区相接。东太湖滩地由泥沙淤积而成,以前生长芦苇、蒿草、莼菜等自然植物,1970 年改成良田,2000 年结构调整为太湖蟹养殖。

项目所在地苏州市东山镇是典型的江南古镇,境内有雕刻大楼、陆巷古村、紫金巷等名胜古迹,有独特的自然风光和水乡风情。2009 年,苏州市东山镇被评为国家级 AAAA 级景区,年平均接待游客 110 余万人次。东太湖湿地资源丰富,是城市重要的生态资源,也是具有特色的城市名片。发展东太湖地区的旅游事业,是吴中环太湖旅游服务业的重要环节,具有广阔的开发前景。

### 1.2 项目建设的重要意义

1.2.1 可以保护和恢复太湖生态湿地功能 2010 年,苏州市东山镇实施了东太湖滩涂地退垦还湖工程,由于缺乏管理,导致目前沿太湖滩涂地杂草丛生、河道淤塞、水系不通,自然环境和生态系统受到严重威胁。东太湖湿地的建设,将有效地改善区域生态环境,为太湖地区多种生物提供最佳的栖息繁衍场所,有利于保护当地的生态和生物多样性。

1.2.2 可以确保水源地用水安全 东太湖连接太湖与黄浦江之间的黄金水道,是苏州、上海的重要水源地。项目区距离太浦河的入口处只有 5 km 左右,一旦湿地生态遭到破坏,就会使水源地受到污染威胁。通过建设生态湿地公园,在项目区合理种植各类湿地植物,能有效地改善太湖流域水体环境,确保水源地水质安全。

1.2.3 可以实现社会经济可持续发展 建设东太湖生态湿地,可向广大游客提供生态旅游和休闲度假的场所,带动当地旅游产业的进一步发展;还可作为环境教育、科学研究、科普宣传的理想基地,让公众在领略湿地自然风光、认识湿地的同

社,2008:165-168.

[33]张志勇.基于驻波率原理的土壤水分测量方法的研究[D].晋中:山西农业大学,2005:2-32.

[34]周凌云,陈志雄,李卫民.TDR 法测定土壤含水量的标定研究[J].土壤学报,2003,40(1):59-64.

[35]陈家宙,陈明亮,何圆球.各具特色的当代土壤水分测量技术[J].湖北农业科学,2001(3):25-28.

收稿日期:2013-12-20

基金项目:江苏省农民增收科技行动计划[编号:ZS(13)5611316]。

作者简介:唐玲(1983—),女,安徽马鞍山人,硕士,助理研究员,主要从事现代农业园区规划研究。Tel:(025)84392681;E-mail:tangling1983@126.com。

通信作者:高玉福,讲师,主要从事风景园林规划设计研究。E-mail:gaoyufu2013@163.com。

[30]Noborio K. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: a review[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2001, 31: 213-237.

[31]周奇,岑国平,敦晓,等.FDR 技术在黄土路基水分测定中的应用[J].公路,2011,5(5):142-147.

[32]陈海波,冷林茂,范玉兰,等.基于 FDR 原理的土壤水分测量技术[C]//中国气象学会 2008 年年会干旱与减灾——第六届干旱气候变化与减灾学术研讨会分会场论文集.北京:科学出版