

文章编号: 1001-6791(2001)04-0535-06

# 土壤水资源及其评价方法研究\*

夏自强<sup>1</sup>, 李琼芳<sup>2</sup>

(1. 河海大学水文水资源及环境学院, 江苏 南京 210098;

2. 土地利用与水资源研究中心, Newcastle University, NE, 17RU, UK)

**摘要:** 阐述了土壤水资源的定义及研究土壤水资源的重要意义, 分析了土壤水资源的结构, 提出了土壤水资源评价方法, 重点研究了可更新的土壤水资源和可开发利用的土壤水资源, 并指出土壤水资源的开发利用是保证农业可持续发展和缓解我国水资源问题的重要手段之一。

**关键词:** 土壤水资源; 评价方法; 开发利用

**中图分类号:** S 152.7      **文献标识码:** A

## 1 土壤水资源

### 1.1 土壤水是一种资源

土壤水作为水资源的重要组成部分有四个主要的特征: 即土壤水是大陆水体的重要组成部分; 土壤水是地面与大气间水分交换的水源, 是水分循环中最重要的要素之一; 土壤水是维系大陆生态系统、植被和旱地作物存在和发育的必要条件; 土壤水资源是可开发利用的。

### 1.2 土壤水资源的定义

关于土壤水资源的概念, 国内外的学者在以往的论述中均有提及, 但都没有对土壤水资源下一个明确的定义。原苏联水文学家 M. E. 利沃维奇提出土壤总湿度的概念, 他认为区域地面总湿度为降水量与地面径流量的差值<sup>[1]</sup>。

$$W = P - R_s = R_g + E \quad (1)$$

土壤总湿度可以说是降水资源的一部分, 它把地下径流和总蒸发归在一起, 实质上是土壤表面下渗总量的概念。它虽含有地下水资源的成份, 但土壤总湿度还不能定义为土壤水资源。

在国内, 有人认为区域土壤含水总量为土壤水资源量, 也有人认为在土壤根系层中可以被植物吸收的土壤水为土壤水资源量, 这种土壤水资源的定义具有局限性, 束缚了人们对土壤水资源的认识。笔者认为, 土壤水资源同地表水资源一样, 其主要的资源量不是其蓄量资源, 而是以区域多年平均水量平衡方程为基础来确定并可更新的土壤水资源。区域多年平均水量平衡方程可写为

$$E = P - R_s - R_u - R_g \quad (2)$$

\* 收稿日期: 2001-03-26; 修订日期: 2001-05-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (59379391)

作者简介: 夏自强 (1949 - ), 男, 湖北武穴人, 河海大学水文水资源及环境学院副教授, 主要从事水文水资源基础理论研究。

式中  $P$  为降水量, 是可更新的总的水资源;  $R_s$  为可更新的地表水资源;  $R_u + R_g$  为可更新的地下水资源;  $E$  为陆面蒸散发量。陆面蒸散发一直被认为是一种损失量, 而没有把它看作水资源量, 根据可更新的总的水资源的组成情况, 陆面蒸散发量是其主要的组成之一, 因此可以定义, 区域的多年平均的陆面蒸发总量即土壤水资源量。

### 1.3 土壤水资源研究的重要意义

土壤水资源是一种储藏量很大、可利用的资源量, 在我国大陆土壤水资源与可更新的总水资源相比, 占有相当大的比例。特别是在我国的干旱及半干旱地区, 陆面蒸散发量占总降水量的 70%~90%, 它是河川径流量的几倍到十几倍。从表 1 中可看出, 在海滦河流域、黄淮海平原区平均陆面蒸散发量占总的平均的降水量 90% 左右, 而蒸散发量为河川径流量的 8.3 倍, 在整个华北平原河川径流量只占总降水量的 17.8%, 而陆面蒸散发量占总降水量的 82.2%, 蒸散量是河川径流量的 4.5 倍, 在经济较发达的干旱和半干旱地区现有的河川径流量非常小, 地表和地下水体的水资源受到过量的开发利用, 超过了地表和地下水体可更新的水资源量, 导致了地下水位持续下降, 对生态和环境造成了严重的破坏。

表 1 我国部分干旱、半干旱地区土壤水资源的统计

Table 1. Statistics of soil water resources in arid and semi-arid regions of China

流域片	水资源分区	面积 / km <sup>2</sup>	$P$ / mm	$R$ / mm	$E$ / mm	$E/P$ / %	$E/R$
黑龙江	海拉尔	52 470	359.3	59.0	300.3	84.5	5.1
海滦河	滦河	44 100	540	08.6	431.7	80.0	4.0
	永定河	45 002	432.8	45.3	387.5	89.8	8.6
	徒马河平原	30 627	592	52.0	540	91.2	10.4
淮 河	淮北平原区	94 459	832	174.0	658.0	79.1	3.8
	沙颍河	39 890	769.6	148.9	620.7	80.7	4.17
黄 河	无定河	30 261	423	48.2	374.8	88.6	7.78
	黄河下游平原	9 196	580	71.7	508.3	87.6	7.1
	华北平原	304 289	704	126	578	82.2	4.5

土壤水资源是一种资源量很大的水资源, 对其研究及开发利用具有非常重要的环境保护意义, 它不会造成环境损害; 我国农业用水量占整个水资源利用量的 80% 左右, 灌溉农业的发展对水资源的需求量日益增大, 必须把水资源开发利用的重点放在土壤水资源上, 因此对土壤水资源理论和开发利用方法上的研究都具有重要的意义。

## 2 土壤水资源的结构

### 2.1 土壤蓄水量资源

土壤蓄水量可分为两部分, 即永久性蓄水量和动态蓄水量。永久性蓄水量是土壤中不参与水分循环的蓄水量, 在土壤水资源评价中, 可以不考虑这部分蓄量。

土壤蓄水量是区域土壤湿度的一种最直观的指标。对植被和作物来说, 土壤蓄水量是惟一的直接供水资源, 是维系植被和作物生长发育的重要的要素。区域的天然植被情况同土壤蓄水量的平均状态有密切关系。土壤蓄水量均值的大小是区域土壤水资源状况的一种间接的反映。

### 2.2 多年平均可更新的土壤水资源

如前所述, 土壤多年平均总蒸散发量即为区域多年平均总的土壤水资源量。从土壤植被系

统的水量平衡方程来看，它是由土壤蒸发和植物散发两部分组成的。即

$$E = E_s + E_T \quad (3)$$

式中  $E$  为多年平均土壤总蒸散发量； $E_s$  为土壤蒸发量，这部分水量是直接由土壤表面进入大气的； $E_T$  是植物散发量，可认为是生态耗水量。多年平均的土壤蒸散发量是土壤水资源的核心部分，是可更新的土壤水资源量。

### 2.3 可以开发利用的土壤水资源

在总的土壤水资源中并不是所有的土壤水资源都是可以开发利用的，土壤蒸发量是一种没有被利用的水资源量，但这部分水资源是可以为植被和作物利用的，是可开发利用的土壤水的主要组成部分<sup>[3]</sup>。而植物散发  $E_T$ ，它是被植被和作物生长发育过程中所利用的一部分水资源量，是植被和作物生存和发育必需的水量，它是由两部分组成，即：

$$E_T = E_{Th} + E_{Tk} \quad (4)$$

式中  $E_{Th}$  是植物或作物生长发育过程中必需的有效利用的散发量； $E_{Tk}$  是植物或作物生长过程中对其生长发育不起作用的无效散发量，从更深层次的水资源开发利用的观点来看，这一部分土壤水资源也是可以开发利用的，则可开发利用的土壤水资源为

$$E_c = E_s + E_{Tk} \quad (5)$$

## 3 土壤水资源的评价方法

### 3.1 土壤蓄水量资源的评价

土壤水的蓄量是土壤水的可调节量，是随着时间在变化，是一种适时的水资源的概念。对土壤蓄水量的变化过程的描述可用区域时段水量平衡方程<sup>[4]</sup>：

$$\frac{dw}{dt} = i(t) - e(t) - r(t) \quad (6)$$

式中  $i(t)$  为降水强度过程； $e(t)$  为蒸散发强度过程； $r(t)$  为径流强度过程，对上式积分

$$\begin{aligned} \int_0^t \frac{dw}{dt} dt &= \int_0^t i(t) dt - \int_0^t e(t) dt - \int_0^t r(t) dt \\ W_t - W_0 &= P - E - R \\ W_t &= P + W_0 - E - R \end{aligned} \quad (7)$$

式中  $P$  为降水量； $W_0$  为时段初的土壤水蓄量； $E$  为时段内的蒸散发量； $R$  为该次降水的总径流量。当无降水补给时  $P=0$ ， $R=0$ ， $W_t = W_0 - E$  (8)

式中  $W_t$  是反映了土壤水蓄量随时间的变化过程，只要知道水量平衡方程中的降水量、蒸发量和径流量就可根据方程来连续地分析土壤水蓄量的实时变化。

### 3.2 区域土壤水资源总量评价

对某一时段的土壤水资源总量的评价以时段水量平衡方程为基础

$$\begin{aligned} P_i &= E_i + R_i + W_{i+1} - W_i \\ WC_i &= E_i + W_{i+1} - W_i = P_i - R_i \end{aligned} \quad (9)$$

式中  $WC_i$  为时段的总的土壤水资源量； $P_i$ 、 $E_i$ 、 $R_i$  为  $i$  时段内的降水量、蒸发量和径流量总量； $W_i$ 、 $W_{i+1}$  为时段始、末的土壤水蓄量。

对于多年平均来说, 区域土壤水资源的总量即多年平均的土壤总蒸发量。

$$W_c = E_0 = P_0 - R_0 \quad (10)$$

式中  $P_0$ 、 $R_0$ 、 $E_0$  为多年平均的降水量、多年平均径流量和多年平均总蒸发量。

表 2 为淮河流域不同分区的水量平衡要素。表中的总的降水资源、地表、地下径流资源均为实测多年平均值, 土壤水资源是由水量平衡方程计算出的流域总蒸发量。从土壤水资源的变化特点来看, 土壤水资源在淮河流域均大于地表和地下水资源的总和, 象涡河区, 土壤水资源是径流资源的 6 倍多, 从这些比值来看, 土壤水资源是总水资源中最主要的组成部分。

表 2 淮河流域土壤水资源量分析计算表

Table 2. Soil water resources in sub-areas of Huaihe River Basin

水系分区	$P_0$ / mm	$R_0$ / mm	$R_{s0}$ / mm	$R_{g0}$ / mm	$E_0$ / mm	$E_0/P_0$	$E_0/R_0$
洪汝河区	909.4	239.0	191.5	47.5	587.9	0.65	2.46
淮洪区间	961.5	242.8	189.7	53.1	718.7	0.75	2.96
桐大山丘区	1 095.3	427.3	329.8	97.5	668.0	0.61	1.56
谷润河区	889.4	209.3	164.8	44.5	724.6	0.81	3.46
史漋河区	1 171.0	493.7	413.0	71.0	667.3	0.57	1.35
沙颍河区	766.5	148.5	101.8	46.0	618.0	0.81	4.16
涡河区	684.3	95.1	74.9	20.3	589.2	0.90	6.19

### 3.3 区域土壤湿度系数

土壤湿度系数可分为区域土壤湿度系数和某空间点的土壤湿度系数, 其表达式为

$$i = \frac{W_i}{W_M} 100\% \quad q_i = \frac{-i}{m} 100\% \quad (11)$$

$$o = \frac{W_0}{W_M} 100\% \quad q_0 = \frac{-o}{m} 100\% \quad (12)$$

式中  $i$ ,  $o$  为区域适时和多年平均湿度系数;  $q_i$ ,  $q_0$  为区域中土壤某空间点实时和多年平均的土壤湿度系数;  $W_i$  和  $W_0$  为区域实时和多年平均的土壤蓄水量;  $i$  和  $o$  为土壤中某空间点的实时和多年平均的土壤含水量;  $W_M$  为区域平均最大土壤蓄水量;  $m$  为点土壤持水能力。

区域实时土壤湿度系数  $i$  及点的湿度系数  $q_i$  反映了土壤实时的土壤含水量的状态, 可作为土壤旱情或土壤墒情指标, 而其多年均值  $o$  和  $q_0$  则反映了区域的多年平均含水量的状态, 是区域气候条件的反映。因此区域干旱或湿润度及其干旱(湿润)系数可表示为

$$r_i = \frac{E_i}{EM_i}; \quad r_0 = \frac{E_0}{EM_0} \quad (13)$$

式中  $r_i$ 、 $r_0$  为年和多年平均的干旱(湿润)系数;  $E_i$  和  $EM_i$  为某年的土壤蒸发量和土壤蒸发能力;  $E_0$  和  $EM_0$  为多年平均土壤蒸发量和土壤蒸发能力。

区域干旱(湿润)系数的定义比降水量和蒸发能力的比值更为确切地描述了区域的干旱(湿润)程度。当  $E=0$  时  $r=0$  说明土壤绝对干燥, 当  $E=EM$ ,  $r=1.0$  说明土壤绝对湿润,  $r$  系数的变化变区间为  $0 \sim 1.0$ 。对于多年平均系数  $r_0$  来说, 它是区域气候和自然地理条件的一个重要指标。

### 3.4 可开发利用的土壤水资源的评价

区域的总蒸发和区域干旱(湿润)系数是对土壤水资源的状况的基本评价, 其评价的重点应

是可开发利用的土壤水资源。总的土壤水资源是由土壤蒸发和植物散发两部分组成的，如式(3)所示，其中，植物散发  $E_T$  这部分水分是为了满足植物生长需求所消耗的水量，是已被利用的土壤水资源。而土壤蒸发  $E_S$  是土壤水分直接由土壤表面进入大气的，它是未经利用的土壤水资源，是可开发利用的。由此，土壤水资源的组成可引出两个参数：

$$\frac{E_T + E_S}{E} = K_T + K_S = 1.0 \quad (14)$$

$$K_T = E_T / E; \quad K_S = E_S / E \quad (15)$$

系数  $K_T$  为植物散发量和总蒸散发之比，它反映了区域土壤水资源被利用的程度，因此可称为水资源的利用系数。系数  $K_S$  为土壤蒸发和总蒸散发之比，是反映区域中未被利用的土壤水资源所占的比重，这一部分水资源是可开发利用的，称为土壤水资源的可开发利用系数。对已被利用的土壤水资源即植物散发还可以分为两部分，如式(4)所示，其中  $E_{TH}$  为满足植物光合作用、营养输送和作物生长所必需的有效散发量；而  $E_{TK}$  为植物生长过程中的无效散发量，这部分无效散发的水分也是一种可开发利用的土壤水资源，则土壤水资源可开发利用系数为

$$K_E = (E_S + E_{TK}) / E \quad (16)$$

可开发利用的土壤水资源占总的降水资源的比值为

$$K_P = (K_S + E_{TK}) / P \quad (17)$$

大量的资料均表明，在陆面总蒸发中，土壤蒸发占很大的比例，一般来说，土壤蒸发量与陆面总蒸散发量的比值  $K_S$  均大于植物散发与总蒸散发的比值  $K_T$ ，与总的降水资源的比值也很大。据测定，小麦生育期间土壤无效蒸发在苗期达 70% 以上，旺盛期为 44% ~ 48%，据德州试验站的实验资料，小麦全生育期棵间蒸发量占总蒸发量的 50% ~ 60%<sup>[1]</sup>。在休闲期，农田的总蒸发均为无效的土壤蒸发，此时的可开发利用系数  $K_E$  为 1.0。个别地区麦田在夏季休闲期的土壤蒸发量占同期降水量的 60% ~ 70%，冬季休闲期的土壤蒸发量半干旱地区为 72% ~ 98%，表 3 是在宁夏的固原和海原地区观测的休闲期蒸发及降水资料<sup>[2]</sup>。从表中可看出，在水资源十分短缺的宁夏部分地区，休闲期的土壤无效蒸发有很大的比例，同其总的降水资源来比，有的年份竟达到了 60% 以上，若加上作物生长期间的棵间蒸发值，土壤的无效蒸发量将占更大的比例。

表 3 宁夏部分地区小麦生产年度休闲期土壤蒸发分析表

Table 3. Soil evaporation during yearly non-cultivation period in Ningxia

代表区	生产年度	年度降水/mm	休闲期(7月下~3月上)			休闲期蒸发与年度降水比/%
			降水/mm	蒸发/mm	蒸发占降水/%	
固原	1979~1980	534.9	369.3	352.5	95.59	66.0
	1984~1985	523.0	278.0	227.1	81.70	43.4
海原	1979~1980	430.4	286.3	257.4	90.00	60.0
	1984~1985	350.0	214.0	218.5	102.1	62.4

## 4 结 语

土壤水资源是一种非常重要并有很大资源量的可更新水资源。对土壤水资源、土壤水资源

的保护和开发利用的研究是合理和科学地开发利用水资源的一个非常重要的方面。

### 参考文献

- [1] 沈振荣, 张瑜芳, 等. 水资源科学实验与研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992, 240 - 305.
- [2] 张景林, 王留芳. 宁南半干旱地区农田水分平衡与稳定型种植制度研究[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13 (4): 58 - 65.
- [3] 夏自强, 蒋洪庚, 李琼芳, 等. 地膜覆盖对土壤温度、水分影响及节水效益[J]. 河海大学学报, 1997, (2): 39 - 45.
- [4] . . . . . [M]. . . . . , 1990.

## Study on Soil Water Resource and Its Evaluating Methodology<sup>\*</sup>

XIA Zi-qiang<sup>1</sup>, LI Qiong-fang<sup>2</sup>

(1. College of Water Resources and Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Center for Land Use and Water Resources Research, Newcastle University, NE1, 7RU, UK)

**Abstract :** The paper defines soil water resource , stresses the significance of soil water resource research , analyzes components of soil water resource , and proposes methodology for evaluating soil water resource. The big attention is paid to the soil water resource which can be renewed , developed and utilized. It indicates that soil water resource development and utilization is one of important measures to ensure agricultural sustainable development , and to resolve water resources scarcity problem in China.

**Key words :** soil water resource ; evaluation methodology ; development and utilization

\* The project is supported by National Natural Science Fund of China (No. 59379391)