

区域土壤水资源评价及其研究进展

易 秀^{1,2}, 李现勇²

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院 陕西 杨凌 712100; 2. 长安大学环境科学与工程学院 陕西 西安 710054)

摘要 在阐述土壤水资源的概念及特点的基础上,讨论了土壤水资源的价值、资源结构和补给特征,分析了土壤水资源量的计算方法,探讨了土壤水资源数量和质量的的评价标准,提出了土壤水资源高效利用的措施。开展土壤水资源理论和开发利用方法上的研究,掌握不同地区土壤水分变化规律,是建立节水型农业的基础,也是有效缓解我国水资源严重不足、实现粮食安全的有力保障。

关键词 土壤水资源; 节水农业; 灌溉

中图分类号 S273.4 文献标识码 A 文章编号 1004-693X(2007)01-0001-05

Evaluation of regional soil water resources and its research development

YI Xiu^{1,2}, LI Xian-yong²

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agriculture and Forest University, Yangling 712100, China; 2. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract Research on soil resources is an important part in analyzing agricultural water resources. Soil water resources influence the formation of surface water and groundwater directly, and also determine the quality of natural ecological environment in the region. Based on the discussion on the concept and characteristics of soil water resources, the values, components, replenishment and calculation methods of soil water resources were analyzed, and the evaluation criterions about the quality and quantity of soil water resources were discussed. Measures for the efficient utilization of soil water resources were put forward. The research on theories, utilization methods of soil water resources, and variation in different areas provides a basis for the establishment of water-saving agriculture and also a strong guarantee to resolve water resources scarcity problem and to realize foodstuff safety.

Key words soil water resources; water-saving agriculture; irrigation

土壤水由降水和地下水补充并消耗于土壤蒸发和植物蒸腾。土壤水分具有可利用性、储存性、传输性和可恢复性,是直接影响农作物生长的重要因素之一。全世界的土壤水分常年储量占河流常年储量的 7.8 倍,是世界大气水的 1.27 倍,对土壤水分的研究已引起许多学者的极大关注^[1-6]。目前我国农业用水量占整个水资源利用量的 80% 左右,灌溉农业的发展势必日益增大水资源的需求量。因此开展土壤水资源理论和开发利用方法上的研究,掌握不同地区土壤水分变化规律,是建立节水型农业的基础,也是有效缓解我国水资源严重不足、实现粮食安全的有力保障。

1 土壤水资源的概念及特性

1.1 土壤水资源的概念

对土壤水的研究有着悠久的历史,是传统土壤学研究的一个重要分支,但把土壤水作为资源来研究的历史却不长。20 世纪 70 年代,前苏联水文学家利沃维奇提出土壤总湿度的概念,认为区域地面总湿度为降水量与地面径流量的差值^[4]。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。我国学者认为^[5],土壤水资源是指土壤水中可为农、林、牧业直接利用和对生态、环境保护具有重要意义且可更新的水量,其资源量大小不仅与土

壤岩性有关,而且还与计算时段、作物种类、产量水平、耕作措施、蒸腾蒸发、气候、潜水埋深等因素密切相关。

1.2 土壤水资源特性

a. 对农、林、畜牧业生产的重要性。农、林、畜牧业对水资源的利用和其他国民经济部门及人民生活对水资源的利用有着本质的不同,一切水源只有首先转化为土壤水资源才能被植物吸收利用。

b. 资源数量巨大。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^[6],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。

表1 我国部分干旱、半干旱地区土壤水资源统计

流域	水资源分区	面积/ km ²	总降水量 P/mm	河川径流量 R/mm	陆面蒸散发量 E/mm	E/P /%	E/R
黑龙江	海拉尔	52470	359	59.0	300.3	84.5	5.1
	滦河	44100	540	108.6	431.7	80.0	4.0
海滦河	永定河	45002	433	45.3	387.5	89.8	8.6
	徒马河平原	30627	592	52.0	540.0	91.2	10.4
淮河	淮北平原区	94459	832	174.0	658.0	79.1	3.8
	沙颍河	39890	769	148.9	620.7	80.7	4.2
黄河	无定河	30261	423	48.2	374.8	88.6	7.8
	黄河下游平原	9196	580	71.7	508.3	87.6	7.1
	华北平原	304289	704	126.0	578.0	82.2	4.5

c. 周年和多年的平衡性。土壤水资源有明显的季节性变化规律,正常年份土壤有效库容都具有蓄、贮、供3个阶段^[7]。6~10月份,由于降雨充足,为土壤水资源蓄水阶段;11月到翌年2月份,土壤水库蒸散发损失比较小,尽管大气降水的补给量比较小,但土壤含水量一般较高且比较稳定,为土壤水资源贮存阶段;3~6月份,随着作物返青并逐渐进入生长旺季,作物需水量大幅度增加,为土壤水库供水阶段。土壤水资源的这种平衡对一个区域的生态环境保护意义重大,一旦平衡被长期破坏而得不到恢复,生产条件和生态环境将恶化,并可能造成土地沙化。

d. 可调控性。区域的土壤水资源量的大小不仅与该区域的土壤岩性、气候、地形及潜水埋深等自

然因素有关,还与该区域的植物和种植作物种类及相应的耕作措施及管理水平等人为因素有关。

2 土壤水资源的价值

农田获得土壤水的途径有多种,为了区别,将利用灌溉手段补充的农田土壤水称为农田土壤水的人工补注量,而将降水入渗补充的土壤水以及潜水在土水势作用下上升补充给土壤的水称为农田土壤水的天然补给注量。

人们通常比较重视土壤水的人工补注量的利用价值。因为土壤水的人工补注量是在天然土壤水比较亏缺的条件下补注的,对改善作物生理缺水现象和作物的生长态势以及增减生物产量或经济产量都具有明显效果。而天然土壤水补注量的供水时效性和可控性,往往都远不如人工补注的土壤水。大量的观测试验资料表明^[8],我国黄、淮、海地区的大部分地区冬小麦全生育期需水量的50%~70%都是由天然土壤水有效补注量和土壤水库的前期储蓄水量直接提供的,夏玉米则占80%以上。

全世界每年可更新的淡水资源中,数量最大的是天然土壤水有效补注量。全世界所有居住陆地降水总量为110.31万亿m³,其中河川径流总量(包括人类提取和使用的)只有38.83万亿m³,降水总量中的64.8%(71.48万亿m³)变为天然土壤水有效补注量,约为地表水和地下水总量的1.84倍。可见,天然土壤水的有效补注量称得上是最大的淡水水源。目前全世界80%、中国50%以上的非灌溉农田,都是利用天然土壤水满足作物供水、获取各种农产品的。

我国农田平均每消耗(即蒸腾蒸发)1m³的土壤水(包括灌溉补水和自然补水)只能生产1kg左右的粮食,部分地区已达到1.5kg左右。国外发达国家平均每消耗1m³的土壤水可以生产2kg以上的粮食,以色列全国平均每消耗1m³土壤水可生产2.3kg以上的粮食。我国农田平均土壤水分生产效率,若能达到每消耗1m³的土壤水能生产粮食1.8~2.0kg,我国农业缺水问题就可以得到基本解决。

3 土壤水资源的分类及补给特征

3.1 土壤水资源的分类

3.1.1 土壤蓄水量资源

土壤蓄水量可分为永久性蓄水量和动态蓄水量两部分。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。

3.1.2 多年平均可更新的土壤水资源

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

$$E = E_s + E_T \quad (1)$$

式中: E 为多年平均土壤总蒸发量; E_s 为土壤蒸发量; 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。

3.1.3 可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可以开发利用。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^[9]。而植物散发量 E_T 是植被和作物生长发育过程中所利用的一部分水资源量,由两部分组成,即:

$$E_T = E_{Th} + E_{Tk} \quad (2)$$

式中: E_{Th} 是植物生长发育过程中必需的有效利用的散发量; E_{Tk} 是植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

$$E_c = E_s + E_{Tk} \quad (3)$$

3.2 土壤水资源的补给特征

3.2.1 降水补给

降水到地面后,除了地表径流和地下水补给外,全部被土壤蓄水水库调蓄。降水对土壤蓄水水库的补给量可由式(4)表示:

$$W_p = P - R_s - R_g \quad (4)$$

土壤水的补给量即总降水量和总径流量之差:

$$W_p = P - R \quad (5)$$

式中: W_p 为土壤的降水补给量; P 为总降水量; R_s 为地表径流量; R_g 为地下径流量; R 为径流总量。

由区域时段水量平衡方程可知:

$$P - R = E + \Delta W_p \quad (6)$$

式中: E 为土壤总蒸发量; ΔW_p 为由降水引起的土壤蓄水量变化。

即有

$$W_p = E + \Delta W_p \quad (7)$$

由此可见,时段土壤水的降水补给量即为该时

段蒸发量和由降水引起的土壤蓄水量变化之和,降水补给的时间同降水的形式有关,降雪对土壤水的补给更为有利^[10]。

3.2.2 浅层地下水对土壤水的补给

土壤水的另一种主要的补给方式是浅层地下水对包气带土壤水的补给。表2是夏自强等^[11]在徐州汉王站对不同地下水埋深条件下地中蒸渗仪多年(1989~1994年)平均地下水对土壤水补给过程的测定结果,可以看出,地下水埋深小时对土壤水的补给量大,地下水埋深大时对土壤水的补给量小。在地下水埋深为3.5m时,地下水对土壤水的补给很小,可以说地下水对土壤水的补给已经终止。

3.2.3 人工引水灌溉补给

引水灌溉是对土壤蓄水的人工补给,以改变天然状态下的土壤湿度情况,满足作物的需水要求。灌溉对土壤水的补给增加了陆面蒸散发量,而这部分水量是把地表水或地下水转化成土壤水后被利用的水量。

4 区域土壤水资源评价与高效利用

4.1 区域土壤水资源量的计算^[12]

4.1.1 流域土壤水资源总量的计算

土壤水储存量的年际变化不大,多年平均变化趋于零,可见农田蒸散发消耗的土壤水资源几乎全部是外来水源对土壤水的补给量,这一补给量就是土壤水资源的数量。一个流域的水量平衡方程式为

$$P = E + R + \Delta u \quad (8)$$

式中: P 为降水量; E 为总蒸发量; R 为河川径流量; Δu 为流域蓄水量的变化。

一般将径流量 R 分解为地表径流 R_s 和地下径流 R_g ,则流域水量平衡方程可表示为

$$P = E + R_s + R_g + \Delta u \quad (9)$$

在多年平均的情况下,有 $\sum \Delta u/n \rightarrow 0$ 。因而流域多年平均水量平衡方程式为

$$P = E + R_s + R_g \quad (10)$$

总蒸发量 E 由水面蒸发量 E_w 和陆地蒸散发量 E_s 两部分构成,因而式(10)可改写为

$$P = E_w + E_s + R_s + R_g \quad (11)$$

土壤水资源 W_{sR} 在数量上等于陆地蒸散发量

表2 不同埋深地下水对土壤水多年平均补给量

地下水埋深/m	月补给量/m ³												年补给量/m ³
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
0.5	12.2	11.3	20.4	33.7	32.7	35.7	61.4	78.8	67.5	42.0	20.8	23.0	39.5
1.5	6.2	2.4	1.0	3.1	2.4	0.8	6.1	48.3	56.4	32.8	12.8	10.6	182.9
3.5	0.3	0.5	0.5	0.3	0.2	0	0	0	0	0.4	0.9	1.5	4.6

E_s 因而一个流域多年平均土壤水资源数量可由式 (12) 求得

$$W_{sR} = P - E_w - R_s - R_g \quad (12)$$

在没有较大地表水体(湖泊等)的情况下,总蒸发量 E 主要由陆地蒸散发量 E_s 构成, E_w 可忽略,则有:

$$W_{sR} = P - R_s - R_g \quad (13)$$

4.1.2 区域土壤水资源总量的计算

考虑某区域土壤水资源总量或土壤水天然有效补给量时,有

$$W_{sR} = P_1 - (R_{s1} - R_{1s1}) - (R_{g1} - E_{g1}) \quad (14)$$

式中: P_1 为区域透水面积上多年平均降水量; R_{s1} 为流出区域的地表径流量; R_{1s1} 为流入区域的地表径流量; R_{g1} 为降水入渗补给地下水的水量; E_{g1} 为潜水蒸发过程补给土壤水的水量。

4.1.3 某一时段土壤水资源量的计算

由于植物在不同生长期对土壤水资源的需求有所不同,在研究中往往需要计算某一时段的土壤水资源量。利用上述各种方程式计算某一时段土壤水资源量时,除了要考虑这一时段内降水、径流等因子外,还必须考虑土壤蓄水量的变化值 Δu 。

4.2 土壤水资源量状况的评价

土壤水资源量状况的好坏可以用土壤湿度和土壤田间持水量的比值来反映。土壤湿度代表了土壤水资源的实际含水量,而田间持水量代表了土壤的最大含水量。土壤实际含水量与土壤最大含水量的比值越大,土壤的湿润状况也就是土壤水资源量状况越好。因为这一比值越大,土壤的实际含水量就越接近土壤的最大含水量。这一比值可用于定量评价某一时期的土壤水资源量状况,并根据各种作物对土壤干湿条件的要求评价其对作物的适宜性。

4.3 土壤水资源质量的评价

由于土壤中的水分主要是来源于降水,大气降水中通常会有少量 CO_2 、 O_2 等物质,进入土体后对土壤矿物有较大的溶解作用,从而形成土壤溶液。土壤温度、湿度、酸碱度和微生物活动情况的不同,可以使土壤溶液产生很大变化,从而产生土壤水质量的差别。因此,对土壤水质量的评价应以对植物生长的利害为标准。目前这一方面的工作尚有待进一步深入。

4.4 土壤水资源保护和高效利用的研究

4.4.1 土壤表面覆盖技术的综合利用

主要包括秸秆覆盖、地膜覆盖和秸秆与地膜的组合覆盖3种措施。国内学者通过对秸秆覆盖的产量效应和增产机理研究,提出了全程覆盖^[13]、免耕全秸秆半覆盖^[14]、二次秸秆覆盖^[15]等耕作措施,这

些措施平均增产幅度在30%左右。地膜覆盖技术可使棉花水分利用效率提高30%~62.2%^[16]。塑料大棚蔬菜膜下滴灌较传统沟灌不覆膜,黄瓜、西红柿、甘蓝水分生产率分别提高16.4 kg/m³、9.6 kg/m³和14.9 kg/m³^[17]。

4.4.2 改变农业耕作措施

a. 深耕休闲。深耕休闲无论在缺水年还是丰水年,都能显著增加土壤贮水^[18]。深耕保水的原因主要是打破了畜耕在距表层16~25 cm之间所形成的紧实犁底层。

b. 夏季休闲。以渭北旱塬为例^[19],该地区540~600 mm的年降水量不可能满足一年两作的耗水。多年的田间试验表明,冬小麦需水量514 mm,耗水量446 mm,在小麦收获时土壤湿度常常达到凋萎湿度,如果再强种一季秋收作物,土壤水资源就得不到充分补充,翌年作物的土壤水分条件将被恶化。

c. 以水分良性循环为目标改变种植制度。如黄土高原作物耗水量一般占年降水量的70%~80%,因此该地区的种植制度应以一年一熟为主,兼有二年三熟。据在陕西澄城的多年研究^[20],高肥豌豆小麦轮作系统,即豌豆-小麦-小麦-谷子三年四作,与小麦连作相比,增产1036~2490 kg/hm²,水分利用效率提高3.60~8.25 kg/(mm·hm²)。

d. 控制作物群体,减少无效叶面蒸腾。例如控制冬小麦无效分蘖,降低叶面积指数,降低作物的耗水量^[21]。

4.4.3 利用以肥调水、以水保肥的水肥耦合技术

增加农田养分投入。从表3可以看出^[22],不论在何种水文年型,不论土壤为何种水分条件,高肥处理的水分利用效率均显著高于低肥处理。

表3 水分利用效率(长武) kg/(mm·hm²)

作物	处理组合	湿润年型	干旱年型	作物	处理组合	湿润年型	干旱年型		
冬小麦	高水	高肥	8.85	9.45	春玉米	高水	高肥	14.25	15.45
		低肥	4.95	3.75		低水	低肥	9.60	11.85
	中水	高肥	9.00	10.05		中水	高肥	16.20	17.10
		低肥	5.10	4.50		低水	低肥	10.05	14.40
	低水	高肥	9.90	7.95		高水	高肥	20.10	17.55
		低肥	6.15	4.05		低水	低肥	13.65	15.60

4.4.4 建立土壤水分监测系统,充分利用土壤水库

以气象预报和土壤墒情预报为依据,进行实时灌溉,提高灌溉水生产效率,雨季到来之前,充分利用土壤水,腾空土壤库容,最大限度地蓄纳雨水,减少灌溉补水量,汛末利用河、渠、沟、塘蓄水回补地下水,增加地表水对土壤水的转化率,实现采补均衡;非饱和带土壤具有较大的调蓄功能。据学者研究^[23],土壤水一次性调蓄功能可达306.2 mm,约占冬小麦全生育期

需水量的 62.1% ,是十分可观的。因此 维护土壤水库也是生态环境治理的一个关键目标。

5 结 语

土壤水资源的研究是分析农业水资源条件的一个重要内容,在有些研究中已经把土壤总水分列入淡水资源。土壤水资源直接影响着地表水和地下水资源的形成。随着节水农业研究的深入,人们对土壤水在农业生产中的作用将会有更多的了解。

土壤水资源直接决定着区域自然生态环境质量。不同区域的土壤水资源都应维持一定水平上的周年动态平衡,如果人为干扰,这个平衡遭到破坏,原有的生态系统就会遭到破坏,甚至造成土地的荒漠化。毁林种田、过度放牧等都是首先破坏了维持土壤水资源动态平衡的边界条件,破坏了区域土壤水资源的动态平衡,从而导致了区域生态环境的恶化。

参考文献:

[1] 刘苏峡,刘昌明.90年代水文学研究的进展和趋势[J].水科学进展,1997,8(4):365-369.

[2] 朱自玺.农田土壤水分变化规律[C]//“华北平原作物水分胁迫与干旱研究”课题组.作物水分胁迫与干旱研究.郑州:河南科学技术出版社,1991:135-154.

[3] 程维新,胡朝炳,张兴权.土壤水分状况是农田蒸发的限制因素[C]//程维新.农田蒸发与作物耗水量研究.北京:气象出版社,1994:11-41.

[4] 沈振荣,张瑜芳.水资源科学实验与研究[M].北京:中国科学技术出版社,1992:46-82.

[5] 程伍群,王文元,杨路华.土壤水资源概念评价及调控的初步研究[J].河北水利水电技术,2001(3):14-16.

[6] 夏自强,李琼芳.土壤水资源及其评价方法研究[J].水科学进展,2001,11(4):535-540.

[7] 冯谦诚,王焕榜.土壤水资源评价方法的探讨[J].水文,1990(4):28-32.

[8] 程伍群,郝志宏.河北省农用水资源可持续利用若干问题的探讨[J].农业工程学报,2001,17(6):34-38.

[9] 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.

[10] 夏自强.土壤水资源特性分析[J].河海大学学报:自然科学版,2001,29(4):23-26.

[11] 夏自强,李琼芳.土壤水资源的变化和补给特征研究[J].水文,2001,21(5):1-5.

[12] 张洪业.土壤水资源研究的两个方面及在农业节水中的意义——华北黄河以北平原地区为例[J].资源科学,1999,21(6):29-33.

[13] 李立科,赵二龙.旱地小麦高产问题的研究[C]//陈万金,信道途.中国北方旱地农业综合发展与对策.北京:中国农业科技出版社,1994:244-248.

[14] 王树楼,王茹.旱地玉米免耕整秸秆半覆盖耕作技术试

验研究[C]//陈万金,信道途.中国北方旱地农业综合发展与对策.北京:中国农业科技出版社,1994:217-221.

[15] 萧复兴,刘国定.旱地麦田二次秸秆覆盖增产模式及管理研究[C]//陈万金,信道途.中国北方旱地农业综合发展与对策.北京:中国农业科技出版社,1994:211-216.

[16] 陈奇恩,张宝林.建立山西省特色的高效稳产高产旱地农业技术体系[C]//陈万金,信道途.中国北方旱地农业综合发展与对策.北京:中国农业科技出版社,1994:17-20.

[17] 李锡录.节水农业中土壤水研究有关问题的探讨[J].节水灌溉,1999(1):13-17.

[18] 高绪科,王小彬.晋东南旱地麦田蓄水保墒耕作技术研究[C]//陈万金,信道途.中国北方旱地农业综合发展与对策.北京:中国农业科技出版社,1994:180-185.

[19] 李开元.黄土高原旱地土壤水资源管理[J].水土保持通报,1995,15(6):34-38.

[20] 韩仕峰,张孝中.提高黄土高原农田土壤水分利用的主要途径[J].水土保持通报,1990,10(6):39-45.

[21] 王文元,贾金生.土壤水的科学调控与水资源的可持续利用[J].河北水利水电技术,1999(4):38-39.

[22] 李开元,李玉山.黄土高原南部农田水量供需平衡与作物水肥产量效应[J].土壤通报,1995,26(3):105-107.

[23] 由懋正,王会肖.农田土壤水资源评价[M].北京:气象出版社,1996:65-90.

(收稿日期:2005-06-15 编辑:傅伟群)

· 简讯 ·

江苏引江冲淤保港 治理里下河水患

2007年1月9日,江苏首次“引江冲淤保港和改善里下河水环境试验”圆满结束。该试验虽然资金投入较少,却有效改善了沿海四大港通道淤积状况,是江苏采取非工程措施科学治水的一次成功尝试。

江苏里下河地区地势低洼,洪涝灾害频发,涝水主要通过射阳河闸、黄沙港闸等沿海四大港闸下泄入海。由于四大港口地处淤积性海岸,港口、海口河道多年来不断淤积,致使里下河地区因排水不畅内涝严重,水质下降,严重影响当地群众的生产和生活。江苏苏北沿海港闸均建于20世纪五十年代以后,闸下通道随着滩涂的淤长而淤积,目前四大港闸以外的许多通道已基本丧失排涝和通航能力,如果将港闸外移数公里,则工程投资动辄数亿元。经科学论证,江苏省水利厅决定引江水对四大港口下游进行生态冲淤,尽可能恢复通道排水能力。

此次试验去年12月3日启动,历时36天。试验期间,引江水量4.1亿m³,沿海四港冲淤水量达10.4亿m³。结果表明,四大港口共冲淤泥泥沙108万m³,下游河道平均冲淤深度达0.2m,通道排水能力已明显好于大洪水的2003年同期。

(本刊编辑部供稿)