土壤水利用技术及节水效益分析

吴丽英, 乔光建

(河北省邢台水文水资源勘测局, 河北 邢台 054000)

摘要 通过对农作物在土壤水利用及在生长过程中的作用分析, 结合邢台市开展的地膜覆盖技术、秸秆还田等措施, 对土壤水进行人工调控, 提高土壤水的利用率。邢台市通过开展棉花地膜覆盖措施, 平均每年减少土壤水损失 16 263 万 m^3 。通过开展秸秆还田措施, 增加土壤有机质和土壤含水率, 年平均增加土壤贮水量 58 069 m^3 。土壤水的充分利用为稳定农业生产、提高土地的产出效率发挥了重要作用。

关键词 土壤水; 地膜覆盖; 秸秆还田; 节水效益; 邢台市

中图分类号 S152.7+3 文献标识码 B 文章编号 1004-693X(2008)S1-0115-03

大气水、植物水、土壤水和地下水为一个完整的系统。在水资源短缺的北方地区, 可通过人工措施来调控土壤水-大气界面的水分交换, 增加土壤蓄水能力, 在土壤根区形成有利于作物根系发育的适宜土壤水分剖面和水势剖面, 同时减少土壤水的无效蒸发, 促进水分的有效利用。目前采用的地膜覆盖、秸秆还田等都是土壤水利用技术的成功范例。

1 研究区基本概况

1.1 地形地貌

邢台市位于河北省南部, 西部为山区丘陵, 东部为平原, 总面积 12 456 km^2 。

山区面积 3 545 km^2 , 占全市总面积的 28%。根据地形地貌特征分为山区和丘陵区。山区面积 1 923.8 km^2 , 海拔高程一般在 500 ~ 1 000 m 之间, 山脉连绵, 河流蜿蜒, 自西向东横截山地, 形成峡谷。丘陵区以百米等高线与平原为界, 面积 1 621 km^2 , 海拔高程 100 ~ 500 m。地面起伏, 岗丘遍布, 沿河两岸布有带状和裙状一、二级阶地。丘陵与平原间地形变化急剧, 没有明显的缓冲地段。

1.2 土壤质地

西部山区的成土母质主要是花岗岩、片麻岩、砂岩、页岩和石灰岩; 东部平原为河流冲击物。全市共有 12 个土类, 主要是棕壤土、褐土、潮土、沙土等。西部山区多分布褐土及棕壤土; 丘陵区多大片碳酸岩褐土, 在盆地及河滩有少量潮土分布; 滏西平原以耕种褐土、耕种潮土型褐土为主, 局部洼地有褐化潮

土、潮湿土、沙土、沼泽土的分布; 黑龙港区以潮土、盐化潮土、褐化潮土类为主, 其中巨鹿、平乡有大面积的盐碱土, 南宫西北部、威县、清河则多为沙土。

1.3 农业生产状况

平原、丘陵、山区兼备的地形地质环境造就了不同自然条件和丰富的自然资源, 粮食和经济作物品种繁多, 传统的农业生产仍占主导地位, 主要有小麦、玉米、谷子、豆类、薯类、棉花等。

根据 2000 年资料统计, 邢台市现有耕地面积 675 073 hm^2 , 其中水浇地面积 512 087 hm^2 。作物种植结构为小麦占种植面积 38.0%, 玉米占 22.9%, 棉花油料占 15.0%, 蔬菜占 4.8%, 薯类豆类占 8.5%, 其他占 10.7%, 复种指数为 1.51。

2 土壤水概念及特性

2.1 土壤水概念

关于土壤水资源, 目前还没有一个明确的定义。20 世纪 70 年代, 前苏联地理学家沃维奇在《世界水资源及其未来》一书中首次使用了“土壤水资源”一词, 指出了土壤水资源是淡水资源的组成部分。1983 ~ 1985 年, 前苏联水文学家达哥夫斯基连续就土壤水资源的概念、评价原则、提高原则和提高土壤水资源利用率的途径、措施做了较为全面和科学的论述。认为一个区域的降水量在理论上可作为天然资源, 在通常情况下它等于可恢复的地表水资源、土壤水资源与地下水资源之和。在我国, 专家对土壤水资源存在不同的认识。一种认为区域土壤含水总

量即为土壤水资源量,另一种认为在土壤根系层中可以被植物吸收利用的土壤水为土壤水资源。

对农业生产而言,有相当可观的有效降雨渗蓄在土壤中,分别为作物天然利用、蒸发和渗漏到地下水中去,仅将地表水和地下水和为区域水资源总量是一种狭义的概念,不能作为全面的区域水资源评价的方法^[1]。

广义水资源总量包括两部分:一是现行水资源评价中的狭义水资源总量;二是天然与人工生态对降水的有效利用量,即雨水资源的有效利用量,可用下式表示^[2]:

$$W_s = (R_s + R_g) + E_p + E_{ss} + E_{es} \quad (1)$$

式中: W_s 为广义水资源量; R_s 为地表水资源量; R_g 为不重复的地下水资源量; E_p 为冠层截流蒸发量; E_{ss} 为地面截流有效蒸发; E_{es} 为与地表水、地下水不重复的土壤水有效蒸发量。其中 $(R_s + R_g)$ 为狭义水资源量。

2.2 土壤水特性

土壤水是地表水、地下水以及大气水相互联系的纽带,具有其他水资源共有的特性:循环再生性和可调控性。由水循环过程土壤水的作用表明,地表水和地下水的形成和聚集均是在降水或灌溉水通过土壤过滤作用后得以实现的。尽管土壤水不能通过人工取水的方式直接获得,但是可以通过调整种植结构、进行适时适量灌溉等人为措施改变土壤水的分布和运移,显著提高土壤水的利用率。

土壤水是维系作物生长发育、生态环境良性循环的最主要的水分源泉。作物生长和发育所需的水分由根系从土壤获得,其他各部分的水只有转化为土壤水才能被作物吸收利用,土壤水的数量和质量直接影响着作物的生长发育,作物作为生态环境良性循环的主要环节,在土壤水直接作用的同时又间接参与维持生态环境的正常运转。

3 土壤水的调控技术及节水效益分析

降水进入农田的水量,小部分补给地下水,大部分转化为土壤水,土壤水是作物的主要水源。在没有作物和作物生长的初期,农田蒸腾蒸发以土壤表面蒸发为主,在作物生长期,农田蒸腾蒸发中作物蒸腾蒸发量和土壤蒸发量不断发生变化,总体上是土壤蒸发量所占比例越来越小,到作物生长旺盛期,作物叶面指数不断增大,覆盖度也逐渐增加,作物蒸腾量远大于土壤蒸发量。这时,作物从土壤中吸取的水量远远超过其代谢实际所需的水量,部分水量并非生物所必须。因此,采用各种技术措施,对农田土壤水进行调控,减少其深层渗漏量、表面蒸发量,抑

制作物生长非必需的水量,由此可以达到节水的目的。同时,利用各种措施增加降水入渗量,减少流失量,提高农业雨水利用效率。目前,邢台市主要采用地膜覆盖和秸秆还田等措施,充分利用土壤水,取得较好的效果。

3.1 地膜覆盖技术

通常的地膜覆盖是在土壤表面设置一层非透气性的塑料薄膜,它最直接的功效就是阻碍土壤水分垂直蒸发和土外水分的垂直进入。迫使水分横向运移(向覆盖处移动)或放射性蒸发(向开孔处移动)。土壤水分蒸发是发生于土壤-大气界面上的水分散失过程,包括水分在土壤中的迁移和地表的汽化过程。覆膜则是在土壤和大气界面之间添加了一个阻隔层,迫使土壤水分保持在阻隔层以下的空间和土壤中,使土壤水分蒸发速度相对减缓,总蒸发量大幅度下降,耕层土壤含水量增加。由此可以使作物全生长期的土壤水分少蒸发100 mm以上。表1列出了地膜覆盖措施的节水增产效果参考值^[3]。

表1 地膜覆盖措施的节水增产效果参考值

覆盖类型	减少土壤水分损失/ ($m^3 \cdot hm^{-2}$)	增产/ ($kg \cdot hm^{-2}$)	增产百分数/%
灌溉农田春小麦地膜覆盖	190 ~ 660	440 ~ 2700	—
灌溉农田冬小麦地膜覆盖	320	1700 ~ 2400	—
灌溉农田棉花地膜覆盖	1600	—	18 ~ 50

另外,由于覆膜增加了作物根系生长深度,有利于作物对深层土壤水分的利用。地膜覆盖上层含水量相对稳定,变化幅度较小,不覆盖的露地0~50 cm土壤水分的变幅几乎是覆盖田块的1倍。作物生长期,特别是苗期耕层土壤的含水量对促进作物早发芽、早出苗和苗期茎叶、根部发育及促进对养分吸收和增产具有重要作用。

从1994年开始,根据水资源状况,邢台市开始调整农业种植结构,大力推广棉花种植面积,按2000~2005年平均计算,棉花种植面积为117907 hm^2 ,其中棉花地膜覆盖种植面积占总面积的85%左右,到2005年达到94.8%。根据表1中实验结果,按照灌溉农田棉花地膜覆盖每公顷减少土壤水损失1600 m^3 计算,则年平均减少土壤水损失16263万 m^3 。表2为邢台市2000~2005年地膜覆盖棉花种植面积与减少土壤损失计算成果。

3.2 秸秆还田技术

农作物秸秆含有丰富的氮磷钾和微量元素成分,是重要的有机肥源之一。实践证明,秸秆还田后,土壤中氮磷钾养分都有所增加,尤其是速效钾的增加明显。作物含有纤维素、木质素等富碳物质,它是形成土壤有机质的主要来源,因而秸秆还田有利

于更新和增加土壤有机质。在增加土壤有机质的同时,秸秆还田后在腐解过程中,促进了土壤颗粒团聚作用,它改善了土壤物理形状,改善了通气水分的渗透性和蓄水、保水能力,改善了土壤结构。

表2 邢台市棉花种植地膜覆盖面积与减少土壤水损失计算

年份	棉花种植面积/hm ²	地膜覆盖面积/hm ²	占棉花总面积百分比/%	减少土壤水分损失/万 m ³
2000	78 748	58 360	74.1	9 338
2001	86 077	67 312	78.2	10 770
2002	105 867	87 422	82.6	13 988
2003	134 908	115 077	85.3	18 412
2004	141 648	129 750	91.6	20 760
2005	160 192	151 941	94.8	24 311

土壤有机质首先是土壤微生物活动的能源,使施入土壤中的氮磷钾肥料通过微生物的生物固定,以有机态的形式存在,从而可以减少养分流失。而土壤中有机态养分通过微生物的降解又可释放氮磷钾供作物吸收利用,维持其土壤养分的平衡。其次土壤有机质在降解过程中生成的多糖和腐殖酸等能增加有机胶体,促进团粒结构的形成,提高土壤保水保肥能力。土壤有机质在土壤中主要是以胶膜的形式包被在矿物质土粒的表面上。腐殖物质胶体的黏结力比沙粒强。因此,有机肥料进入沙土后可增加砂土的黏性,有利于团粒的形成。另一方面,由于土壤有机质松软、絮状多孔,而黏结力又不像黏土那么强。所以黏粒被它包被后,就变得松软,易使硬块破碎成团粒。说明有机质能使砂土变紧,使黏土变松,改善了土壤的通气性、透气性和保水性。

中国农业科学院新乡农田灌溉研究所对不同秸秆还田数量的农田进行对比试验,试验农田土壤有机质含量为1.208%,分别对农田按照3 000 kg/hm²、6 000 kg/hm²、9 000 kg/hm²数量实施秸秆还田和不实行秸秆还田等4种方式进行试验,2年后测定土壤有机质含量。表3为使用不同数量秸秆两年后对土壤有机质含量影响结果^[4]。

表3 翻压玉米秸秆两年后土壤有机质含量

秸秆还田数量/(kg·hm ⁻²)	有机质含量/%	有机质含量比对照结果增加百分数/%
0	1.217	0.75
3 000	1.229	1.74
6 000	1.244	2.98
9 000	1.253	3.73

土壤有机质疏松多孔,又是亲水胶体,能吸持大量水分。据研究资料^[5],腐殖质物质吸水率为5 000~6 000 g/kg,而黏土吸水率只有500~600 g/kg,腐殖质的吸水率比黏土大10倍,能大大提高土壤的保水能力。

为了进一步加大秸秆综合利用力度,国家环保

总局、农业部、财政部、铁道部、交通部、民航总局等六部门联合起草了《秸秆禁烧和综合利用管理办法》,于1999年4月16日正式发布实施。邢台市从2000年开始,大力开展农作物秸秆还田工作,多年来,农机和农业部门组织开发和生产了一批农业机械化新技术和新机具,推广了小麦联合收获、机械深耕和玉米秸秆机械化还田等技术,秸秆还田能力进一步增强。到2005年,玉米秸秆还田面积达到种植面积的78.2%。

按照农科院实验数据^[4],无秸秆还田的土壤有机质质量比为12.17 g/kg,在秸秆还田数量为6 000 kg/hm²的情况下,土壤有机质质量比为12.44 g/kg。每公斤土壤增加有机质含量0.27 g。式(2)可计算出单位面积有机质含量:

$$G = kAhUr_d \quad (2)$$

式中: G 为土壤有机质含量,kg/hm²; k 为单位换算系数; A 为土壤面积,hm²; h 为计算土层深度,cm; U 为土壤有机质含量,g/kg; r_d 为干土容重,g/cm³。

根据邢台市土壤质地等有关资料, $r_d = 1.4$ g/cm³,秸秆还田增加的有机质存在20 cm的土层中, $h = 20$ cm,土壤增加有机质含量 $U = 0.27$ g/kg,计算面积 $A = 1$ hm²。利用公式(2),计算每公顷农田面积增加有机质含量为75.6 kg/hm²。

按有机质吸水率5 kg/kg计算^[5],根据2000~2005年资料统计,年平均增加土壤贮水量58 069 m³,在增加土壤有机质的同时增加土壤含水率。邢台市玉米秸秆还田面积及增加土壤贮水量计算成果见表4。

表4 邢台市玉米秸秆还田面积及增加土壤贮水量

年份	玉米种植面积/hm ²	秸秆还田面积/hm ²	秸秆还田增加有机质含量/t	增加土壤贮水量/m ³
2000	233 308	46 662	3 528	17 638
2001	243 695	126 721	9 580	47 901
2002	254 082	168 202	12 716	63 580
2003	258 773	177 518	13 420	67 102
2004	265 810	189 257	14 308	71 539
2005	272 847	213 366	16 130	80 652

4 结论与建议

根据北方地区水资源短缺的现状,在农业生产方面,土壤水的保护和开发利用将越来越受到重视。应采取各种技术措施,对农田土壤水进行调控,减少表面蒸发量,抑制作物生长非必需的水量,提高土壤水的利用效率。

通过人工调控措施,提高土壤水的利用率,是解决农业水资源不足的有效措施。通过对邢台市土壤水人工调控效果分析,

(下转第121页)

提供的条件,治理总目标是莱茵河要成为“一个完整的生态系统的骨干”。到2000年莱茵河全面实现了预定目标,沿河森林茂密,湿地发育,水质清澈洁净。鲑鱼已经从河口洄游到上游——瑞士一带产卵,鱼类、鸟类和两栖动物重返莱茵河。

3 研究前景展望

从技术层面上看,有以下问题值得重视和研究:

a. 从水利工程规划设计的指导思想看,建设水利工程的目的是不仅应满足人们对水的需求,同时要满足维持河流生态系统健康的需求,其中的关键问题之一是尽可能地保护河流形态的多样性。

b. 新建水库工程要充分论证由于水库建设改变河流生态系统为静水生态系统的利弊得失,采取必要的补偿工程措施和生物措施。

c. 开展已建水库的生态系统健康评估与预测,加强库区生物群落调查,注重水库生态系统退化的恢复及富营养化控制问题,通过水库库区生态建设及水生生物的合理结构设计,提高水库水体自净能力和自我修复能力,开发与推广生态系统的治污技术,开发人工湿地、生物廊道、生态浮岛等经济实用技术。

d. 合理调度水库及其他水利设施。水库调度在满足人的需求的同时,兼顾生态系统的健康需求,克服静水、深水对生物群落的不利影响。充分利用乡土种生物,慎重引进外来物种,防止生物入侵。

e. 保持河流的蜿蜒性是保护河流形态多样性的重点之一。在河道整治工程中,尊重天然河道形态,避免直线和折线型的河道设计。灌溉渠道设计也要注意模仿河流自然形态的特点。对于河流的裁

弯取直工程要充分论证,取慎重态度。

f. 保持河流断面形状的多样性,尊重河流原有的自然断面形态。河道整治工程中应尽可能避免采用几何规则断面,疏浚工程施工中避免河道断面的均一化。

g. 河道防护工程的岸坡采用有利植物生长的透水材料,特别注意采用当地天然材料。注意整理、发掘和发展我国各地的传统治河工法和材料。开发和推广输水渠道新型衬砌材料,可供植物生长并具有一定防渗性能。

h. 水利工程设计应为植物生长和动物栖息创造条件,提供鱼类产卵条件以及鸟类和水禽栖息地和避难所,建设符合生态学原理的过坝鱼道,开发新型丁坝、人工浮岛及生态型城市雨洪利用系统技术。

参考文献:

- [1] 董哲仁. 水利工程对生态系统的胁迫[J]. 水利水电技术, 2003(7):1-5.
- [2] 董哲仁. 生态水工学的理论框架[J]. 水利学报, 2003(1):1-6.
- [3] 董哲仁. 河流生态恢复的目标[J]. 中国水利, 2004(10):1-5.
- [4] PETERSEN M M. A natural approach to watershed planning, restoration and Management[J]. Water Science Technology, 1999, 39(12):347-352.
- [5] 董哲仁. 保护和恢复河流形态多样性[J]. 中国水利, 2003(11):53-57.
- [6] MITSCH W J. Restoration of our lakes and rivers with wetlands-an important application of ecological engineering[J]. Water Science Technology, 1995, 31(8):167-177.

(收稿日期 2008-03-17 编辑 徐娟)

(上接第117页)

采用地膜覆盖措施,平均每年减少土壤水损失16263万 m^3 。采用秸秆还田措施,增加土壤有机质和土壤含水率,平均每年增加土壤贮水量58069 m^3 。

减少土壤水蒸发、充分利用土壤水的措施有秸秆覆盖、地膜覆盖、秸秆还田以及非土壤水调控充分灌溉技术等,可以根据当地的水资源情况和地理地质特点,灵活运用,以达到保护和充分利用土壤水的目的。

参考文献:

- [1] 刘昌明. 水文水资源研究理论与时间[M]. 北京:科学技

术出版社, 2004:425-431.

- [2] 王浩, 王建华, 贾仰文, 等. 现代环境下的流域水资源评价方法研究[J]. 水文, 2006, 26(3):18-21.
- [3] 崔毅. 农业节水灌溉技术及应用实例[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.
- [4] 韩永俊, 尹大庆, 赵艳忠. 秸秆还田的研究现状[J]. 农机化研究, 2003(2):34-40.
- [5] 关连珠. 普通土壤学[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2007:37-57.

(收稿日期 2008-06-06 编辑 高渭文)