

# 黄土区农田作物降水利用效率影响因素及提高途径分析

冯浩, 赵西宁, 吴普特

(西北农林科技大学, 中国科学院水利部水土保持研究所, 国家节水灌溉  
杨凌工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 降水资源高效转化利用对于提高旱地农业和灌溉农业生产综合效益均具有重要意义。通过对黄土区农田作物降水利用效率的概念及其影响因素、农田降水生产潜力等相关研究成果的分析, 从实现土壤水库扩蓄增容、增加农田地面覆盖、促进作物根系生长、减少作物无效蒸腾、持续增加土壤肥力等 5 个方面, 提出了提高黄土区农田降水利用效率的方法和途径, 并结合降水资源转化利用技术发展需求, 提出了近中期提高降水资源利用效率技术的发展方向和研发的若干重点。

**关键词:** 黄土区; 作物降水利用效率; 作物降水生产潜力; 影响因素; 提高途径; 研发重点

**中图分类号:** S5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 100820864(2007)0520030206

## Analysis on Influencing Factors and Improving Approaches of Crop Utilization Efficiency for Rainfall in Farmland at the Loess Plateau

FENG Hao ZHAO Xining WU Pu-te

(Northwest A & F University Institute of Soil and Water Conservation Chinese Academy of Sciences  
National Engineering Research Center for Water Saving Irrigation at Yangling Shanxi Yangling 712100 China)

**Abstract** High efficient rainfall resourcesp conversion and utilization is of significant importance for improving integrated efficiency of irrigated agriculture and rain fed farming at the Loess Plateau Based on analyzing the concept and influencing factors for improving crops rainfall utilization efficiency and farmland rainfall production potential of the related research achievements, the paper introduces the methods and approaches for improving crop rainfall utilization efficiency from five aspects of increasing storage capacity of soil reservoir and groundslipcover of farmland, promoting the growth of crop root system, decreasing crop inefficient vaporization, and persistently increasing soil fertility etc At last, according to technical development requirement for rainfall resourcesp conversion and utilization, the paper suggests several technical emphases for research and development orientation to improve rainfall resources utilization in the near future

**Key words** loess plateau, crop rainfall utilization efficiency, crop rainfall production potential, influencing factor, improving approach, emphasis for research and development

降水资源作为作物可以直接利用的最廉价、最有效的自然资源, 一直受到国内外学者的普遍关注与重视。吴普特提出了在灌区农田利用旱作覆盖保墒技术, 提高降水利用率, 降低灌溉定额的保墒灌溉新技术<sup>[1]</sup>; 山仑在对旱地农业和灌溉农业分析基础上, 提出了半旱地农业的概念, 即在充分利用自然降水基础上进行少量水补充灌溉的农业<sup>[2,3]</sup>。李佩成指出, 灌溉农业与旱作农业既有对立性又有

统一性, 在促进农业生产和对水的需要上是统一的, 而在农田集水、保水、用水方面, 旱农技术则表现出明显的先进性和有效性, 在灌溉农业中应引进旱农技术, 这将会大量节约灌溉水源<sup>[4]</sup>。从上述意义上理解, 降水利用技术实际上是灌溉农业和旱地农业的通用技术, 充分利用降水资源对于提高农业生产综合效益具有重要意义。

在灌溉农业和旱地农业中, 降水都是重要的农

收稿日期: 2007207219; 修回日期: 2007208227

基金项目: 国家 / 8630计划节水农业重点项目 (2006AA100204; 2006AA100217); 国家科技基础性工作专项 (2006FY210300); 新世纪优秀人才支持计划资助。

作者简介: 冯浩, 研究员, 博士, 博士生导师, 主要从事水土资源高效利用以及节水灌溉新技术、新方法和新材料的研究。

Tel 029287019597; E-mail Nerows@vip.sina.com

田水分补给源。在平缓的农田条件下,降水降落到地面后,除极少部分形成径流流失外,绝大部分入渗到土壤中,转变为可供作物利用的土壤水,最终通过作物根系吸收以蒸腾方式散失,或通过土表以无效蒸发形式散失<sup>[5,6]</sup>。作物对降水的利用受自然和人为等诸多因素的影响,降水量、降水时期、降水农田分布、土壤入渗性能、持水性能、蒸发性能、农田微地形状况、作物品种、耕作措施、养分等都是影响作物利用降水的重要因素。在上述因素中,除天然降水的数量和时间很难改变外,土壤、作物、耕作和管理等都是人为可以改变控制的因素<sup>[7]</sup>。人们所致力追求的就是充分发挥人为调节作用,通过各种方式和途径,创造良好的作物生长环境,促进降水在农田的转化,不断提高农田降水的生产效率。

## 1 作物降水利用效率的概念及影响因素分析

刘文兆建立了旱地作物雨水利用效率(PUE)的统一表达式,揭示了在作物利用降水过程中,从降水入渗、贮存,进而消耗、转化诸环节间的内在联系<sup>[8]</sup>。本文将在此基础上进一步探讨不同条件下PUE概念的内涵,为农业生产中提高作物PUE提供新的思路和方法。表达式为:

$$PUE = \frac{SW}{P} @ \frac{ET}{SW} @ \frac{T}{ET} @ \frac{Y}{T}$$

公式中,SW为分析时段作物最大根系影响层内的土壤累积有效贮水量,是土壤原有贮水量与降水转化为土壤水量之和;P为分析时段内的降水量;ET为有作物生长时的农田耗水量;T为作物蒸腾耗水;Y为作物产量。

$\frac{SW}{P}$ 为降水收存率, $\frac{ET}{SW}$ 为农田水分消耗率, $\frac{T}{ET}$ 为作物蒸腾比率,即作物生长期的蒸腾耗水占总农田耗水的比率; $\frac{Y}{T}$ 为仅考虑蒸腾消耗的作物水分利用效率。这几项参数相乘为作物降水利用效率。

### 1.1 降水收存率

降水收存率 $\frac{SW}{P}$ ,其含义为降水转化为可供作物利用的土壤水的比率。这一概念可以和农田灌溉水利用率进行分析比较。农田灌溉水利用率是指进入农田的灌溉水转化为计划湿润层内土壤水的比率。两个概念之间具有不同程度的一致性。

降水是最好的天然灌溉,在地块平整、土壤疏松、降水量不大的情况下,天然降水都会通过入渗转化为土壤水。但在地块坡度较大、且降水量也较大的情况下,降水至地面后就会产生地面径流,进而造成农田土壤水分分布不均,减少降水转化比率。此外,当农田农层土壤被压实破坏、存在明显弱透水性犁底层时,降水很难迅速地进入土壤,而在土壤表面形成积水,降水结束后被快速蒸发造成损失。

土壤质地、结构、容重、有机质含量及土壤水本身的状况对降水收存率有一定影响。以土壤水影响为例,一般情况下根据不同土壤特性条件下的土壤含水量以及作物能够利用的程度,人们将土壤水划分为凋萎湿度、田间持水量和饱和含水量等几个易于理解的土壤水有效性或土壤水库特征值。当土壤水处于上述三个特征值中的任何一个或任何两个特征值之间时,也即土壤水库处于不同库容状态下,降水转化为作物可利用的土壤水的效率会有较大的差别;不同作物对降水收存率也有影响。对于宽行作物,降水在行间或棵间转化形成的土壤水分作物直接利用较少,大部分以无效蒸发形式损失掉,进而降低了降水收存率<sup>[9]</sup>。作物在不同生育时期由于植株大小、根系范围和田间郁闭程度等都会对降水收存率造成影响。

降水量和降水时期也是影响降水收存率的重要因素。在作物生育期内,约有20%~40%降水小于10mm,也有1~3次降水会超过50mm。一般小于10mm的降水只能转化为土壤表层水分,这一层次的水分与作物根系还有一定距离,很难被作物根系吸收,而主要受大气蒸发力强烈影响,很快通过蒸发进入大气,故又将小于10mm降水称为无效降水。反之,当降水量过大时,入渗深度超过作物根系吸收范围,也可能成为当季作物无法利用的水分<sup>[10]</sup>。根据定义可以知道,由于土壤累积有效贮水量SW包括了土壤原有贮水量和作物生育期内降水转化的土壤贮水量两个部分,因此,降水收存率 $\frac{SW}{P}$ 有可能大于1。在这一转化过程中,在作物已确定的条件下,土壤特性是影响降水转化效率的一个重要因素。

### 1.2 农田水分消耗率和作物蒸腾比率

农田水分消耗率 $\frac{ET}{SW}$ 为土壤水转化为作物蒸腾和土面无效蒸发的比率。作物蒸腾比率 $\frac{T}{ET}$ 是

作物生长期的蒸腾耗水占总农田耗水的比率。在实际农田水分转化和作物吸收利用过程中,农田水分消耗率和作物蒸腾比率实际上是相互紧密联系、不可分割的。追求 $\frac{T}{ET}$ 最大化是这一阶段农田水分管理的主要目标。

土壤水向作物和大气的循环和转化是一个持续不断的过程。在该阶段,作物、土壤及地面覆盖状况是影响其转化效率的主要因素;作物对作物蒸腾比率的影响主要表现在品种、种植方式、根系及生育时期。宽行和窄行作物、单作和间套作、根系大小与发育状况、苗期和花期等对农田水分消耗率和作物蒸腾比率有直接的影响。土壤是吸收、储存、输送水分的库和源,尤其在黄土区疏松、浓厚、连续的土壤可形成巨大的土壤水库。据测定,黄土区 1 m 土体可容纳 276~ 310 mm 的水分,2 m 土体可容纳 550~ 610 mm 的水分,即可把全年降水蓄住,这是黄土区得天独厚的有利条件<sup>[11]</sup>。蓄存在土壤中的水分除部分继续下渗或保持在土体中外,其余主要用于作物蒸腾和土面无效蒸发,在该过程中,土壤本身的水分物理特性,尤其是持水性能起到关键作用。土壤持水性能、抗蒸性能和供水性能,决定了土壤能否蓄存、保持土壤水并能持续供给作物水分。地面覆盖状况是影响农田水分消耗率和作物蒸腾比率,尤其是土面无效蒸发的重要因素。地面覆盖状况直接改变了农田下垫面水、热、气交换等诸因子,同时对土壤容重、土壤肥力、土壤微生物的数量和活性也有明显影响,而这些因子正是影响土面蒸发的关键因素。

农田水分管理的主要目标不是追求农田水分消耗率 $\frac{ET}{SW}$ 的最大,而是追求作物蒸腾比率 $\frac{T}{ET}$ 的最大。因为加大土面无效蒸发尽管不会对作物有好处,但可使农田水分消耗率 $\frac{ET}{SW}$ 增大。只有追求作物蒸腾比率 $\frac{T}{ET}$ 最大才会对作物生长和产量有益。

### 1.3 作物水分利用效率

作物水分利用效率 $\frac{Y}{T}$ 是联系水分消耗和作物产量形成的关键环节。这一阶段,农田水分管理的目标依然是追求作物水分利用效率最大。影响

作物水分利用效率的因素主要有三个方面<sup>[12]</sup>,一是作物本身的遗传性质,不同作物和同一作物不同品种之间水分利用效率不尽相同。二是土壤肥力状况也是影响作物水分利用效率的关键因素,在较高肥力水平地块上的作物蒸腾量 T 可能会比较低肥力水平地块上的 T 产出更多的作物产量 Y。三是作物蒸腾量 T 转化成作物产量 Y 本身就是一个复杂过程,作物蒸腾量 T 本身的大小也是这一比率的一个重要影响因素。

陆生植物从土壤中吸收的水分,只有极少部分(约为 1%~ 3%)用于自身的组成和参与代谢活动,而绝大部分即 93%~ 99% 的水分则排出体外<sup>[13]</sup>。一是以液体方式即通过吐水和伤流散失水分,二是通过气体状态即通过蒸腾作用散失水分。因此可将作物蒸腾量 T 划分成三个部分,第一是代谢必须蒸腾量,是指作物生理和生命过程必须的水量;第二是产量必须蒸腾量,这是形成作物产量所必须的水量;第三是无效蒸腾量或称奢侈蒸腾量,即对作物生理和产量形成过程影响很少的水量。目前,这三部分比例还不清楚,但无效蒸腾量或奢侈蒸腾量的数量肯定对作物水分利用效率有一定影响。

## 2 农田降水生产潜力

农田降水生产潜力,是指在当地气候、土壤、作物条件和技术进步条件下,可能实现的最大生产力<sup>[14]</sup>。黄土高原地区虽然降水量有限,但光热资源比较丰富,蕴藏着很大的生产潜力。据冷石林研究<sup>[15]</sup>,目前黄土高原地区自然降水生产潜力开发程度较低,现实生产力产量只有旱作物农田水分生产潜力理论值的 45.9%,该地区降水资源还有 1 倍以上的潜力可以开发。从降水利用效率来看,不同类型区和不同种类作物理论平均值为 17.27 kg#(mm<sup>-1</sup>#hm<sup>-2</sup>),而现实降水利用效率仅为 7.72 kg#(mm<sup>-1</sup>#hm<sup>-2</sup>),为理论值 44.7%。大量试验研究同样表明<sup>[16,17]</sup>,并非降水资源不足而是降水资源未能充分利用是制约黄土高原农业生产力水平提高的主要原因。据试验测定,旱地农田总降水中,地面径流和地下径流约占 14%,86% 的自然降水入渗土壤可供作物利用,但在一般耕作栽培条件下,通过作物蒸腾形成的作物生产力共占总降水量的 23% 左右,60% 左右的

水无效蒸发<sup>[11]</sup>。这些无效蒸发水分正是旱地农业的重要利用对象。

### 3 提高降水利用效率的方法和途径

在对上述相关成果分析的基础上,本文重点从影响农田降水转化各个环节的主要因素及提高各个转化过程效率出发,提出提高农田降水利用效率的方法和途径。

#### 3.1 实现土壤水库扩蓄增容

通过土壤结构改良剂、保水剂等各种措施,增加土壤团聚体含量,降低土壤容重,保持土壤有效孔隙数量,抑制土壤水分无效蒸发,提高土壤持水能力,实现土壤水库的扩蓄增容是提高降水利用效率的关键措施。员学锋等研究发现<sup>[18]</sup>,施用聚丙烯酰胺制剂(PAM)后,土壤大于0.25 mm的团聚体总量较对照平均增加30.2%以上,同时土壤容重降低,总孔隙度增大,土壤饱和含水量和田间持水量分别较对照平均增加了5.18%和1.22%,且降低土壤蒸发速率达50%以上。黄占斌等研究结果表明<sup>[19]</sup>,保水剂对土壤团聚体形成有促进作用,特别是对土壤中0.5~5 mm粒径的团聚体形成最明显。同时发现,随着保水剂含量的增加,土壤胶结形成团聚体,以大于1 mm大团聚体最多,这些大团聚体对稳定土壤结构,改善土壤通透性,防止表土结皮,减少土面蒸发有较好作用。

#### 3.2 增加农田地面覆盖

对宁南半干旱山区的研究表明<sup>[16]</sup>,在通常耕作条件下,连续休闲6年的裸地自春季到秋季,日平均土面物理蒸发强度为1.9 mm,累积蒸发量达399.0 mm,占当年降水量(475.9 mm)的83.8%。河南新乡灌溉所的研究结果表明<sup>[17]</sup>,冬小麦播种-越冬期株间蒸发占总耗水量的60%,越冬期和返青期一般介于32%~37%之间,拔节后降到12%以上。冬小麦全生育期,株间蒸发量占总耗水量的22.1%~27.68%。夏玉米全生育期株间蒸发量占总耗水量的33%~38%。因此,无论是旱作区还是灌溉区,抑制土壤水分无效蒸发,是挖掘降水利用潜力,提高降水利用效率的重要方法。根据不同作物特性和作物的不同生长阶段,采用不同覆盖物质对农田进行覆盖,均可减少土壤水分蒸发损失,进而达到蓄水、保墒和增产作用。

#### 3.3 促进作物根系生长

作物根系是土壤水分的直接吸收利用者。Genwits和Page提出,作物根量随土壤深度增加而呈指数递减,形成/根土容积锥体 $\theta$ 。锥体大小受环境因素影响而动态变化。在土壤水分轻度胁迫下,诱导根系下扎,下层根量、根长、根密度所占比例明显增加,锥体随深度衰减缓慢;在水分严重胁迫下,根量、根密度、根数都显著降低,根系所达深度浅,锥体体积小。根系吸水量随土壤深度增加而减少,但与根量之间无线性关系,中深层根系吸水量占总吸水量比例远大于中深层根量所占总根量的比例<sup>[20]</sup>。促进根系生长的方法有:①以肥调根,以根调水。磷肥对于根系深扎,增大深层根量有明显作用,增施有机肥可提高旱地保水能力,促进根系生长和增强活力。②合理适时适量灌溉,可改变根系形态结构,提高水分利用率。③免耕覆盖技术可节能、促根、保水、节水。④合理密植,适期播种,也是提高水分利用率的有效措施。

#### 3.4 减少作物无效蒸腾

在不影响产量情况下,通过使用抗蒸腾剂降低作物无效蒸腾,是提高作物水分利用效率最具潜力的途径。20世纪60~70年代,国内外许多科研院所就开始了抗蒸腾剂的研制。已有抗蒸腾剂按其性质和作用方式,可分为代谢型气孔抑制剂、薄膜型抗蒸腾剂和反射型抗蒸腾剂3类。代谢型气孔抑制剂能控制气孔开张度而减少水分蒸腾损失,比较有效的有腐殖酸类制剂、整形素、甲草胺、阿特拉津、敌草隆、西玛津、地衣酸、藻酸、水杨嗉酸和环己基18-冠-6等物质。目前,在生产中主要推广的是黄腐酸,它是一种兼具抗蒸腾作用和抑制生长作用的物质,常常被当作一种有提高作物抗旱能力的抗旱剂,目前,成型产品有FA(黄腐酸)和FA旱地龙等。薄膜型抗蒸腾剂是应用单分子膜覆盖叶面,阻止水分子向大气中扩散。Devenport等在收获前1~2周对橄榄树喷以薄膜型抗蒸腾剂,使果实体积增加了9%~15%,取得了良好效果。但也有研究表明,薄膜型抗蒸腾剂不利于植物对CO<sub>2</sub>的吸收,降低CO<sub>2</sub>界面透过量,对光合作用有抑制。反射型抗蒸腾剂是利用反光物质反射部分光能,达到降低叶片温度、减少蒸腾损失的目的。目前,使用较多的是成本低廉的高岭土。AbouKhaled的研究表明,在播种45 d时,喷施浓度为0%高岭土能使叶温下降

1~25e, 蒸腾明显降低。在不同的降水年份, 产量可增加 16.5%~27.7%<sup>[21, 22]</sup>。

### 3.5 持续增加土壤肥力

土壤肥力是作物高产稳产的保证, 也是可持续生产力的基础。山仑在宁夏固原的研究结果表明, 低肥条件下每增加 1 mm 耗水可生产粮食 0.32 kg, 高肥条件下则可生产 0.66 kg<sup>[31]</sup>。高肥力条件下以较低的耗水生产了较多的粮食。曹宁、张福锁等人利用 CENTURY 模型的模拟研究表明<sup>[23]</sup>, 黄淮海平原冬小麦/夏玉米轮作体系中, 耕层土壤每增加 1t 有机碳, 作物产量提高 442.2~952.9 kg/hm<sup>2</sup>。土壤肥力对降水转化、土壤水库特性、根系生长和作物产量形成等各个环节具有重要影响。只有持续不断地通过各种措施, 保护和增加土壤肥力, 才有可能使降水资源在一个较高的水平上进行高效转化, 作物的产量才能得到持续提高。

## 4 关于提高降水利用效率技术的展望

降水资源高效转化与利用是实现农业高效用水, 减少灌溉用水的前提和基础, 也是当前解决我国农业用水紧缺和粮食安全的重要途径之一<sup>[24]</sup>。针对农田降水转化利用过程中的关键环节, 研究如何增加降水入渗, 减少田间无效蒸发, 提高土壤持水保水能力, 减少作物无效耗水的新技术和新材料, 对于充分挖掘降水资源利用潜力, 提高降水资源利用效率, 解决未来我国粮食安全生产具有重要意义。在国家/十五 0 节水农业重大科技专项课题/雨水集蓄高效利用技术研究 0 的支持下, 针对黄土区严重干旱缺水与水土流失并存的现实, 笔者等人已对黄土区坡面的雨水集蓄高效利用技术进行了较为系统的研究, 在雨水资源化潜力评价与智能决策系统、人工雨水汇集工程技术、存贮与净化工程技术与产品研发等方面开展了大量的试验研究工作。在/十一 5 0 节水农业重点项目课题/降水资源转化利用技术 0 支持下, 笔者等人已对黄土区农田降水资源转化利用技术进行了初步的探索, 在农田土壤水库扩蓄增容潜力及其扩蓄增容制剂的研制方面已取得阶段性成果<sup>[25, 26]</sup>。基于上述研究实践, 从提高黄土高原地区农田降水利用效率角度考虑, 近中期降水资源高效转化利用技术的研究宜集中在以下

5 个方面。

1 在农田降水转化过程模型与土壤扩蓄潜力方面, 主要研究农田降水-土壤水-作物水转化过程模型, 确定不同区域农田降水转化效率。研究土壤结构参数对土壤入渗性能、持水性能、供水性能以及蒸发性能的影响, 建立农田土壤有效库容计算模型和评价方法, 提出农田土壤水库扩蓄潜力与途径。

2 在农田降水-土壤水高效转化利用技术方面, 重点研究土壤剖面非均质结构优化增容技术、农田蜂窝状入渗孔径流调控技术、根域微集水优化配置技术、生物造腔扩蓄增渗等技术, 增加土壤有效库容, 提高农田降水-土壤水转化效率。

3 在土壤水库扩蓄增容制剂研制方面, 重点研制以微生物菌株、秸秆等为主要原料的土壤生物增容剂; 以高分子化学保水材料为基本原料的人造土壤有机团粒增容剂; 具有土壤水库扩蓄能力的安全可降解保水型土壤结构改良剂; 以活性炭、秸秆等为主要原料的有机无机复合增渗材料。

4 在土壤水-作物水高效转化技术与制剂研制方面, 主要研制可反射阳光、降低叶面温度、调控植物蒸腾的成膜反光抗旱剂; 开发具有抗旱和刺激植物根系生长的高活性、低毒 RAD(多效缩醛)调节剂的研究。

5 在农田降水资源高效转化利用技术体系方面, 在黄土高原地区, 结合现有农田灌溉和耕作等技术, 对上述土壤非均质结构优化增容技术、农田蜂窝状入渗孔径流调控技术、根域微集水优化配置技术、土壤生物增容剂、有机团粒增容剂、有机无机复合增渗材料、植物抗旱剂等技术与材料进行集成和示范, 建立适合黄土区的降水资源高效转化利用综合技术体系。

## 参 考 文 献

- [1] 员学锋, 汪有科, 吴普特. 浅议保墒灌溉技术新体系及其理论基础[J]. 西北水力发电, 2005, 21(3): 72-75
- [2] 山 仑. 山仑论文集[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2003
- [3] 山 仑. 植物抗旱生理研究与发展半旱地农业[J]. 半旱地区农业研究, 2007, 25(1): 1-5.
- [4] 李佩成. 论中国农业水土工程面临的新问题及其历史使命[J]. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(5): 373-377.
- [5] 吴普特. 雨水资源化与现代节水农业[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(1): 15-20.
- [6] 冯 浩, 邵明安, 吴普特. 黄土高原小流域雨水资源化潜力计算与评级初探[J]. 自然资源学报, 2001, 16(2): 140-144

- [7] 赵西宁, 吴普特, 冯浩. 基于GIS的区域雨水资源化潜力评价模型研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 6-10
- [8] 刘文兆. 旱地作物雨水利用效率同一性表达式的构造及其意义[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(2): 62-66
- [9] 崔文华, 辛亚军, 佟艳菊. 内蒙古东部主要作物降水利用率与生产潜力研究[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 592-595
- [10] 朱国庆, 史学贵. 定西半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J]. 中国农业气象, 2001, 22(3): 6-9
- [11] 朱显谟. 抢救/土壤水库0实为黄土高原生态环境综合治理与可持续发展的关键[J]. 水土保持学报, 2000, 1: 1-6
- [12] 刘文兆, 李生秀. 作物水肥优化耦合区域的图形表达及其特征[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 1-3
- [13] 潘瑞炽. 植物生理学. [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004
- [14] 窦杰凤, 蒋万波, 崔文华. 内蒙古东部地区玉米降水利用率与生产潜力研究[J]. 内蒙古农业科技, 2006, 5: 34-35
- [15] 冷石林. 北方旱农地区自然降水生产潜力的适度开发对策[J]. 中国农业气象, 1997, 18(6): 30-33
- [16] 韩思明. 黄土高原旱作农田降水资源高效利用的技术途径[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 1-9
- [17] 杜虎平. 黄土高原小杂粮降水生产潜力开发和增进的技术途径[J]. 中国农学通报, 2005, 21(12): 428-431
- [18] 员学锋, 吴普特, 汪有科. PAM对土壤物理性状影响的试验研究及机理分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 37-40
- [19] 黄占斌, 朱书全, 张铃春. 保水剂在农业改土节水中的效应研究[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 57-60
- [20] 张爱良, 苗果园, 王建平. 作物根系与水分的关系[J]. 作物研究, 1997, 2: 4-6
- [21] 王建, 蔡焕杰, 康燕霞. 夏玉米裸间土面蒸发与蒸发蒸腾比例研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 17-22
- [22] 毕会涛, 胡春瑞, 黄付强. 抗蒸腾剂对枣苗失水率与移栽成活率的影响[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(2): 154-156
- [23] 曹宁, 陈新平, 张福锁. 从土壤肥力变化预测中国未来磷肥需求[J]. 土壤学报, 2007, 44(3): 536-543
- [24] 冯浩, 吴普特. 我国灌溉、施肥发展现状与粮食生产问题之讨论[A]. 贾敬敏, 余建主编. 中国节水农业发展战略研究与实践[C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006, 63-69
- [25] 吴普特, 冯浩, 牛文全. 现代节水农业技术发展趋势与未来研发重点[J]. 中国工程科学, 2007, 9(2): 12-18
- [26] 吴普特, 冯浩, 牛文全. 中国节水农业战略思考与研发重点[J]. 科技导报, 2006, 5: 86-88

## 中国作物学会 2007年学术年会通知

为总结和交流近几年来作物分子育种和节水农业科技创新进展和经验, 中国作物学会将召开2007年中国作物学会学术年会, 大会邀请国内外知名教授专家和活跃在学科前沿的科教工作者作学术报告, 开展学术争鸣, 为今后学科建设提供可行性建议。

本次会议由中国作物学会主办, 西北农林科技大学承办。现将会议有关事项通知如下:

### 1 时间和地点

时间: 2007年11月23~25日

地点: 陕西杨凌

### 2 主题

作物分子育种和节水农业科技创新进展

### 3 主要内容

1 作物分子育种: 种质资源利用与创新 分子标记 基因操作 基因组学 / 分子辅助育种。

2 节水农业: 干旱、半干旱农业的作物品种改良 / 水分生理 耕作栽培 / 节水新技术新产品 /

节水农业经济。

### 4 论文征集

会议论文集将以5干旱地区农业研究6增刊的形式在会前出版发行。论文写作格式按5干旱地区农业研究6投稿要求。每篇论文不超过5000字, 通过Email邮件提交电子文稿(Word文件)时要注明/年会稿件0。投稿请在信封左下角注明/中国作物学会学术年会0字样。文稿后请附作者简介及联系方式。论文请提交到中国作物学会。

### 5 联系方式

联系地址: 北京中关村南大街12号  
中国作物学会办公室

邮 编: 100081

电 话: 010268918616

传 真: 010268918785

E mail: cssc304@sina.com

联系人: 杜娟