

# 我国农艺节水技术研究进展及发展趋势

高传昌, 王兴, 汪顺生, 史尚

(华北水利水电学院, 郑州 450011)

**摘要:** 随着我国经济的发展, 农业用水面临巨大挑战, 提升北方地区农田水分利用效率对解决粮食生产过程中的缺水问题至关重要。全面分析了耕作保墒、覆盖保墒、增施有机肥与秸秆还田、水肥耦合、调整作物布局、选用节水型品种和化学调控等农艺节水技术措施的研究进展与发展趋势。针对我国农艺节水技术措施已取得的成就与存在的问题, 提出了农艺节水中一些重要的理论问题和关键技术, 以期将农艺节水技术提升一个新的高度。

**关键词:** 农艺节水; 保墒; 水分生产率; 节水增产

**中图分类号:** S274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)01-0146-05

## Research Progress and Development Trend of Agronomic Water-saving Technology

GAO Chuang, WANG Xing, WANG Shursheng, SHI Shang

(North China University of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou 450011, China)

**Abstract:** With the economic development in China, the agricultural water use faces enormous challenges, and therefore the enhancement of utilization efficiency of farmland water use in northern China is essential to solve the water shortage problem during the food production process. In this paper, the research progress and development trend of the agronomic water saving technology measures are analyzed, including the tillage for soil moisture conservation, covering for soil moisture conservation, organic fertilizer and crop straw returning to soil, coupling of water and fertilizer, adjustment of crop layout, selection of water saving varieties, and chemical control. In light of the achievements and existing problems on the agronomic water saving technology measures, some important theoretical problems and key technologies on the agronomic water saving are proposed, which can help improve the agronomic water saving technology to a new height.

**Key words:** agronomic water saving; soil moisture conservation; water productivity; water saving and increasing of yield

“我国人口众多, 人均水资源量只有 2 200 m<sup>3</sup>, 预计到 2030 年将逼近国际公认的严重缺水警戒线, 水资源紧缺已严重制约中国经济可持续发展。农业是用水大户, 其用水状况直接关系到国家水资源安全。”然而, 我国大部分区域农业用水的浪费现象却十分严重, 农业灌溉用水的利用效率仅为 1.0 kg/m<sup>3</sup> 左右, 不及发达国家的一半; 农田对自然降水的利用率较低, 仅达到 56%<sup>[1]</sup>。因此, 发展以节水和提高水分生产率为核心的节水型农业势在必行, 对保障水资源安全、生态环境的可持续发展<sup>[2]</sup>, 保障我国农业的可持续发展, 具有重要的战略地位和作用。农业节水主要包括工程节水、农艺节水和管理节水, 其中农艺节水是通过作物生理调控和农田土壤调控技术进行水的充分利用, 节水潜力巨大, 与工程节水相比, 具有技术投资少, 易于推行等优点, 逐渐成为节水农业研究的重点。

## 1 农艺节水的内涵

农艺节水是根据种植区的气候、地形、经济等因素, 选用节水抗旱品种, 改革耕作制度和种植制度, 通过农业综合技术, 充分利用各种形式水资源, 抑制土壤蒸发和作物奢侈蒸腾, 提高作物水分生产率, 达到节水高产品目的, 是众多节水环节中较为关键的一环。农艺节水与农业生产过程紧密联系在一起, 可大范围内发挥实效, 更能体现节水的实质。

农艺节水技术措施主要包括耕作保墒、覆盖保墒、增施有机肥与秸秆还田、水肥耦合、调整作物布局和选用节水型品种、化学调控等技术措施。根据农艺节水机制, 可分为保墒节水类措施、提高作物光合效率减少低效蒸腾类措施及二者相结合的措施。保墒节水类措施主要作用在于针对作物的不同生育阶段“按需供水”, 抑制农田水分的无效蒸发损耗, 使得

收稿日期: 2012-11-30 修回日期: 2012-12-19 网络出版时间: 2013-01-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130124.1131.013.html>

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAD88B02); 河南省教育厅科学技术研究重点项目(12A210018); 华北水利水电学院研究生创新课题(YK2012-07)

作者简介: 高传昌(1957-), 男, 河北邯郸人, 教授, 博士, 主要从事节水灌溉理论与技术方面的研究。E-mail: gcc@ncwu.edu.cn

在同样的供水条件下土壤和作物体内能保持较好的水分状况,促进作物生长和增收;提高光合效率减少低效蒸腾类措施是在控制用水量的前提下能有效地减少作物的奢侈蒸腾,促进作物光合效率的措施,使一部分无效的棵间蒸发变成有效的植株蒸腾,通过提高作物群体叶面积指数,增加株体干物质的积累,以增加作物收成,从而提高水分的利用效率。

## 2 农艺节水技术研究进展

提到农业节水,大部分人都会想到加强水资源管理、灌溉渠道防渗等管理节水和工程节水措施。其实随着我国水利与农业事业的蓬勃发展,农艺节水技术已取得了较快、较大的进步,其中,节水型品种选用、耕作保墒、覆盖保墒、水肥耦合及秸秆还田等技术应用比较广泛。

### 2.1 耕作保墒技术

适宜的土壤耕作措施,既有利于最大限度的利用天然降水,亦可以提高灌溉用水的效率,是围绕以“土壤水库”为中心合理调控与运用土壤水、地下水、大气降水的关键。深耕保墒、耙耱保墒、镇压保墒和提墒及中耕保墒技术统称为耕作保墒技术。这些耕作技术能够疏松土壤,切断水分通道,增加土壤活性,削弱土壤水分蒸发,提高土壤蓄水能力,减少地面径流,达到高效用水的目的。

近年来,国内学者将耕作保墒技术与其他农艺节水措施相结合进行研究,取得了一些研究成果。黄明等<sup>[3]</sup>研究了旱作条件下传统耕作、免耕覆盖、深松覆盖耕作模式冬小麦花后土壤水分和养分的状况,结果表明传统耕作模式花后在0~40 cm的土壤水分分别比免耕覆盖、深松覆盖低4.13%、6.23%,干物质积累也不及后者;刘庆福等<sup>[4]</sup>在东北春玉米播种时,通过分层盖土,垄侧和苗带镇压,密实土壤,与常规耕作种植相比,促进了底层土壤水分上移,利于种子发芽生根,提高了出苗率;吕美蓉和韩宾<sup>[5]</sup>进行了类似的研究,得出了深松耕、免耕都可以提高土壤含水率,在相同播量的条件下,深松耕和耙耕有利于小麦的根系生长与水分吸收,出苗率、群体量、穗粒重和千粒重都明显高于常规耕作,但是免耕的出苗率和群体量不理想的结论。就目前的研究成果来说,大多数耕作措施有利于土壤水的保持和提高,有利于亩产的增加,中耕还有利于消除田间杂草,减少农药的喷洒。

### 2.2 覆盖保墒技术

覆盖保墒技术的研究与应用,在国内外日趋成熟,分为秸秆覆盖保墒、砂石覆盖保墒、地膜覆盖保墒及化学覆盖保墒技术。适宜的覆盖保墒技术可以调节地温,提高土壤肥力,减少地表径流,抑制无效水分蒸发,起到蓄水保墒,提高水分利用率,促进作物生长发育的良好效果。目前研究较多的是秸秆覆盖和地膜覆盖,化学覆盖的应用研究相对少一些。秸秆覆盖是将作物的秸秆或干草等铺在土壤表面,具有造价低、调低温、抑杂草的特点,国内大量学者对此进行了研究。砂石覆盖是指卵石、粗砂等混合覆盖在土层表面,主要在我国西北风沙地区应用,具体的保墒效果研究的比较少。

研究发现,与常规耕作相比,秸秆覆盖改变了土壤地温和蒸发条件。陈素英<sup>[7]</sup>对秸秆覆盖条件下麦田土壤温度和土壤蒸发进行了研究,发现麦田由于铺放玉米秸秆提高了冬季地

温,同时降低了春季地温,使麦田的温度变化趋于平缓,有利于小麦充分吸收深层储水,但在返青期由于低温和保墒效应,推迟并延长了返青期,缩短了灌浆时间,降低了小麦最终产量;刘超<sup>[8]</sup>通过裸土无作物种植覆盖和小区玉米种植覆盖试验研究了不同秸秆覆盖量与夏玉米田间保墒效果的关系,发现秸秆覆盖量在0.6~0.9 kg/m<sup>2</sup>范围时,能明显影响和保持0~50 cm土层的土壤含水量,土面蒸发速率仅为无覆盖条件下的27.8%~38.5%,单株产量比无覆盖处理至少增加28.4%,节水和增产效果显著;左余宝<sup>[9,10]</sup>研究了鲁北地区秸秆覆盖对作物需水量、作物系数、水分利用效率的影响,得出在小麦、玉米周年生育期内,比裸土栽培模式的平均需水量减少35.35 mm,水分利用率提高19.5%,作物系数降低8.15%。

地膜覆盖广泛用于我国干旱地区的棉花种植和玉米栽培,近些年又突破性的用于小麦和水稻的栽培上,取得了显著的节水增收效果。钟新才<sup>[11]</sup>等发现,覆膜种植后新疆皮棉产量由之前的不足750 kg/hm<sup>2</sup>提高到1545 kg/hm<sup>2</sup>,灌溉定额却由原来的13350 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>下降到10500 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,水分生产效率提高了2.65倍;方日尧<sup>[12]</sup>则是将地膜与秸秆覆盖结合起来,通过大田对照试验详细分析了冬小麦水分利用效率、投入产出比和节水增产效果,发现垄覆膜沟覆秸秆模式较为突出,水分利用效率达到1.159 kg/m<sup>3</sup>,而常规种植模式仅为0.6~0.7 kg/m<sup>3</sup>,投入产出比为1:1.34,单位粮食生产节水37.21%~39.85%,单位水量增产58.68%~66.52%,取得了良好的经济效益。针对塑料薄膜覆盖使用不当会带来“白色污染”的问题,人们研发了一种高分子化合物制成的乳剂,直接喷洒在土壤表面,形成一层液膜,强小嫚<sup>[13]</sup>研究发现液膜增温保温效果比较显著,在拥有普通地膜作用的同时,更有利于光合作用产物的形成,实现了增产节水。

### 2.3 增施有机肥和秸秆还田技术

焚烧秸秆既造成农业资源的浪费,又污染环境,成为我国农业生产和环境保护的一大难题。实际上秸秆中含有大量的粗纤维和无氮浸出物,平均含碳44%、氮0.6%、磷0.25%、钾1.4%,还含有镁、钙、硫等元素,具有很大的综合利用潜能<sup>[14]</sup>。秸秆还田,具有改善土壤结构,增加有机质含量和土壤微生物等多方面的作用,是建设生态农业,促进农业可持续发展的重要手段,有关这方面的试验研究比较多。

周波<sup>[15]</sup>通过黄河冲积平原的潮土研究表明,秸秆还田有利于有机质含量的提高、土壤容重的下降、孔隙度的增大,在不施任何微量元素肥的情况下显著增加活性酶和锌、铁、锰、氮等微量元素的含量,通过对水肥气热等条件的协调,创造一个良好的土壤环境;慕平和姜洁<sup>[16,17]</sup>的研究发现,秸秆还田在改善土壤形状的同时,还可以提高土壤的缓冲性,增加贮水能力,减少土壤水分蒸发,通过对农药残余和重金属污染的消除,提高作物品质,保护农村生态环境;解文艳<sup>[18]</sup>对比了秸秆过腹还田、秸秆粉碎直接还田、秸秆覆盖还田三种方式,发现三种还田方式都减少了玉米生育期的耗水量,土壤水分利用效率提高了0.224~0.550 kg/m<sup>3</sup>,增产率达到了8.33%~16.19%,在正常年份秸秆覆盖还田耗水量最低、水分利用率最高,秸秆过腹还田增长效果最显著。

增施有机肥可以提高胡敏酸的含量,将分散的单粒土壤

胶结起来,形成团粒结构,把入渗水转化为毛管水,减少蒸发,提高土壤肥力和涵蓄水能力,但是大量研究表明,单独增施有机肥效果不如只采取秸秆还田的效果,投入产出比不理想,只有将其与秸秆还田结合起来才更有效。史桂芳<sup>[19]</sup>利用三年时间,在对冬小麦增施有机肥与秸秆还田相结合条件下,研究了其对冬小麦产量及性状的影响,结果发现,比对照最小增产率达 9.60%,成穗率、穗粒重和千粒重都有显著提高。总体来看,秸秆还田比增施有机肥有投入产出比高的优势,取材方便,投资小、见效快,但是有的秸秆发酵的比较缓慢,需要配合腐熟剂来使用。

## 2.4 水肥耦合技术

作物生长离不开水、肥的补充,根据作物生长特性和所需水肥规律及所在区域的土壤气候条件,建立以水、肥、作物产量为核心的耦合模型尤为重要。以肥调水、以水促肥,增水以增肥为基础,增肥以灌水为前提,充分发挥水肥协同效应和激励机制,可有效提高作物抗旱能力、产量和品质,充分发挥水肥效益。我国自“八五”以来,将“旱地农田水肥交互作用及耦合模式研究”作为重点攻关专题,通过多学科联合攻关,取得了良好效果<sup>[20]</sup>。

目前,河南、陕西、甘肃、宁夏等北方干旱半干旱地区对水肥耦合效应的研究较多,主要包括玉米、小麦、谷子、大豆等供试作物。周欣<sup>[21]</sup>将氮、磷、钾、土壤含水量作为研究因子,探讨了大豆产量与水肥的关系,获知在大豆盆栽试验条件下,各因素对大豆产量均有影响,顺序为:水>氮>钾>磷;水肥耦合的产量效应显著,且存在水肥用量临界值,中水中肥条件下产量效应最优。仲爽<sup>[22]</sup>根据玉米产量与耗水量的试验结果,建立了不同水肥条件下玉米产量与耗水量的关系模型,研究表明,在一定范围内水、氮配合为正交互效应,合理的施用氮肥能够提高玉米对土壤水分的吸取,提高作物蒸腾,减少蒸发,提高水分利用率和玉米产量。徐国伟<sup>[23]</sup>以郑麦 9023 为试验材料,研究了水肥耦合下对小麦产量的影响,发现在同一水分处理下,增施氮肥显著增加单位面积穗数;同一氮肥处理下,灌水处理增加了穗粒数、千粒重,平均增加 4.2% 与 2.9%,最终产量提高 9.3%。随着绿色生态农业的发展,侯彦林<sup>[24]</sup>提出“生态平衡施肥”的理论,指出除考虑作物产量、品质之外,还应把土壤肥力、生产成本、化肥农药造成的农田污染一并考虑进去,对当前最佳水肥耦合模型的建立具有一定的指导意义。

## 2.5 抗旱品种选用和调整作物布局

因地制宜选用抗旱高产作物品种、合理调整作物种植格局是实现作物高产、高效、节水的关键措施。每一种作物和品种,都有一个特定的环境要求,只有品种或作物的生理生态特性与所生长的环境相适应,才能充分发挥其产量潜力与优良特性。目前该项措施主要包括根据种植区的降雨和地下水状况,合理调整作物结构和播种时间,使需水规律与农田灌溉吻合,扩大生育期耗水与降水耦合性好的作物种植面积,使之获得适宜的水分条件;适当压缩耗水量大的作物种植面积,并将其安排在水源条件较好的地区,在不影响粮食安全的情况下适当多安排经济效益较高作物的种植;打破常规种植模式,采取轮作、间作、套作的种植方式;选用高产、抗

旱、节水、高水分利用率的品种。

汪顺生<sup>[25]</sup>在豫西地区研究了套种模式下宽窄行对夏玉米生长发育及产量的影响,发现与常规栽培相比,宽窄行种植模式有利于夏玉米的株高增长和干物质积累,灌浆速率提高比较显著,平均单产比对照增加 16.7%,增长效果显著;胡志桥<sup>[26]</sup>结合轮作与调亏灌溉,探寻解决石羊河流域水资源短缺和不合理种植模式的方法,结果表明在不同调亏灌溉条件下采用油菜-小麦/黄豆和小麦/黄豆-小麦两种种植模式与常规小麦-玉米轮作模式相比,具有显著节水、增产、增收的效果,水分利用率提高了 8.2%~37.3%。高传昌等<sup>[27]</sup>通过对河南半干旱区农业高效用水研究试验发现,在洛早 2 号、洛早 7 号、豫麦 18、周麦 18 等 16 种小麦和洛玉 3 号、洛玉 4 号、沈单 10 号、农大 108 等 15 种玉米在生育期内,洛早 2 号和洛玉 4 号最为突出,耗水量略低于平均耗水量,但产量却比平均产量高,作物水分生产率分别为 1.82 kg/m<sup>3</sup> 和 2.04 kg/m<sup>3</sup>,在种植过程中属于豫西地区水分生产率较高的抗旱品种,建议在豫西地区作为首选品种。

## 2.6 化学调控技术

保水剂和作物蒸腾调控剂的应用是两种主要的化学调控措施,目前已研发了多种化学调控剂,也吸引了一些学者对其实用效果进行研究。杨永辉<sup>[28-29]</sup>通过试验发现保水剂不仅减少了作物的水分消耗、增加了计划湿润层土壤含水量、提高了作物产量和水分利用率,还明显改善土壤的物理特性,促进土壤团粒的形成,进而抑制土壤水分蒸发和促进作物根系的生长。作物蒸腾调控剂是一种以黄腐殖酸为主要成分,加入植物生长所需要的一些营养元素而制成的一种不含激素、无毒、无害、无环境污染的化学抗旱节水剂,俗称旱地龙。可以通过喷施、浸种和拌种来使用。王允青<sup>[30]</sup>通过对照试验发现,在使用旱地龙的情况下,能有效减小作物叶片的气孔开度和水分蒸腾,增加玉米叶片的叶绿素含量,进而增强了光合作用,促进了根系的发育,土壤含水率也显著提高,玉米穗秃尖减少 0.2 cm、穗粒重增加 4.9%,单产增加 6.5%,但对田间持水量和土壤容重影响不大。当前化学调控剂广泛用于多种作物,带来了巨大的经济和社会效益。

## 3 展望及需待研究问题

### 3.1 农艺节水研究发展趋势

我国在农艺节水技术的研究与推广方面取得了一定进展,近年来针对不同地区的水、肥、种、种植、耕作、覆盖等与农业生产发展关系密切的问题已做过较多的研究工作。如在覆盖保墒技术、地膜覆盖灌水技术、化学制剂的保墒抑蒸方面取得了一些成果和经验,也开发出了一些相关产品,推动了农艺节水技术在我国的应用和发展。但农艺节水是一个复杂的系统工程,涉及到田间灌水、节水品种筛选、节水高效种植模式、保护性耕作、水肥耦合、覆盖保墒及化控节水等技术内容,这些技术既有面上通用的,亦有带有较强区域性的,目前分散性研究较多,而对成本分析、适用性与可操作性、配合灌溉措施与管理措施的综合节水效果及分摊比例的认识上,仍不清晰。在节水效果好、成本低、操作简单、便于农民采用的农艺节水技术及操作规程方面的研究仍存在一定的难度。

在农艺节水技术领域取得的很多成果在研发阶段表现出显著的节水增产增收效果,但在农业生产实际应用中,却由于缺乏相应的技术产品、配套的应用设施和规范化的技术标准,难以大面积推广应用。各单项技术之间缺乏有机的连接和集成,缺乏适宜于不同区域水土条件的农艺节水技术集成体系和应用模式,整体配套性能差,整体效益难以发挥。因此,未来农艺节水的发展趋势是借鉴国外高新技术,根据地区的资源特点、田间灌水技术以及作物的种类,开发出适于地方特色的标准化、规范化、模式化、量化、集成化的农艺节水综合技术体系和应用模式。

### 3.2 需研究解决的问题

根据农艺节水的研究现状及发展趋势,一些重要的理论问题和关键技术亟待研究解决。

(1) 不同农艺节水措施下农田的水、气、热交换规律及水盐运动规律,节水灌溉技术条件下的水肥运移、吸收利用规律,耕作保墒技术等农艺技术措施与节水灌溉技术如何结合成统一的整体,各单项农艺节水技术措施怎样有机配合产生更好的效益,还有待进一步研究。

(2) 在覆膜灌溉研究与推广方面,尽管我国已有 20 年的历史,但是相关的研究还不够深入,成果还不够丰富,特别是对覆膜沟灌的入渗规律、灌水质量评价、灌水技术方案设计理论与方法、地膜敷贴质量影响入渗性能的定量分析等方面研究还不能满足推广应用的需要,有待于进一步深入研究。也正因为该原因,我国尚缺乏关于覆膜灌溉的标准规程。

(3) 结合基因技术,选育抗旱节水与优质高产结合的小麦、玉米等大田作物品种,根据区域自然条件,以提高光热资源、降雨以及灌溉水利用效率为目标,研究不同灌溉方式下节水高效种植方式,确定主要种植制度下农田水分高效利用技术控制参数,提出节水高效型种植模式及优化的量化指标。

(4) 地膜覆盖、有机肥增施及秸秆还田等农艺节水技术对环境污染的问题,加强地膜降解技术的研究与应用,开发周年生育期内可降解的薄膜,减少白色污染;加强抗旱、高产、优质品种的培育和引进工作;加强对增施有机肥和采取化学调控措施的监控,避免造成土地的隐性污染;严格把握还田秸秆的质量,坚决清除存在病虫害的秸秆,以免造成二次灾害。

(5) 发展现代农艺节水技术,以土壤-作物-水分-经济效益为研究主线,将传统技术与高分子材料、计算机模拟、基因工程融合起来,形成集数学、生物、化学、土壤学、作物学、遗传学于一体的学科交叉体系,从水分调控、水肥耦合、作物生理与遗传改良等方面出发,探索提高各个环节的节水潜力。

(6) 提出不同灌溉方式下的适宜种植制度、灌溉制度、覆盖技术及与之配套的农艺技术措施,建立与灌溉方式、农艺技术相结合的高效农艺节水技术体系,提出技术标准与操作规程;同时将农艺节水与工程节水、管理节水结合起来,突出农艺节水技术创新和普及,注重农机农艺配套,构建高效节水农业技术体系,逐步形成蓄水、保水、节水、用水一体化的农业节水格局,全面提高农业用水效率。

### 参考文献(References):

[1] 许迪,康绍忠.现代节水农业技术研究进展与发展趋势[J].高技术通讯,2002,12(12):103-108.(XU Di,KANG Shaorzhong,

Research Progress and Development Trend on Modernized Agriculture Water-saving Technology[J].Chinese High Technology Letters,2002,12(12):103-108.(in Chinese))

- [2] 李保国,黄峰.1998-2007年中国农业用水分析[J].水科学进展,2010,21(4):576-583.(LI Bao guo,HUANG Feng.Trends in China's Agricultural Water Use during Recent Decade Using the Green and Blue Water Approach[J].Advance in Water Science,2010,21(4):576-583.(in Chinese))
- [3] 黄明,吴金芝,李友军,等.不同耕作方式对旱作区冬小麦生产和产量的影响[J].农业工程学报,2009,25(1):50-54.(HUANG Ming,WU Jir zhi,LI You jun,et al.Effects of Different Tillage Management on Production and Yield of Winter Wheat in Dryland[J].Transactions of the CASE,2009,25(1):50-54.(in Chinese))
- [4] 刘庆福,梁光辉.垄上镇压式玉米精密播种机保墒抗旱播种试验[J].农业机械学报,2007,38(4):197-198.(LIU Qing fu,LUAN Guanghui.Precision the Planter Soil Moisture and Drought Seeding Experiments Repressive Style Corn on the Ridge[J].Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007,38(4):197-198.(in Chinese))
- [5] 吕美蓉,李增嘉,张涛,等.少免耕与秸秆还田对极端土壤水分及冬小麦产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(1):41-46.(LV Mei rong,LI Zeng jia,ZHANG Tao,et al.Effects of Minimum or No tillage System and Straw Returning on Extreme Soil Moisture and Yield of Winter Wheat[J].Transactions of the CSAE,2010,26(1):41-46.(in Chinese))
- [6] 韩宾,李增嘉,王芸,等.土壤耕作及秸秆还田对冬小麦生长状况及产量的影响[J].农业工程学报,2007,23(2):48-53.(HAN Bin,LI Zeng jia,WANG Yun,et al.Effects of Soil Tillage and Returning Straw to Soil on Wheat Growth Status and Yield[J].Transactions of the CSAE,2007,23(2):48-53.(in Chinese))
- [7] 陈素英,张喜英,裴冬,等.玉米秸秆覆盖对麦田土壤温度和土壤蒸发的影响[J].农业工程学报,2005,21(10):171-173.(CHEN Suying,ZHANG Xiying,PEI Dong,et al.Effents of Corn Straw Mulching on Soil Temperature and Soil Evaporation of Winter Wheat Filed[J].Transactions of the CASE,2005,21(10):171-173.(in Chinese))
- [8] 刘超,汪有科,湛景武,等.秸秆覆盖量对农田土面蒸发的影响[J].中国农学通报,2008,24(5):448-451.(LIU Chao,WANG You ke,ZHAN Jir wu,et al.The Study of Influence of Straw Mulch Amount to Soil Moisture Evaporation in Farmland[J].Chinese Agricultural Science Bulletin,2008,24(5):448-451.(in Chinese))
- [9] 左余宝,逢焕成,李玉义,等.鲁北地区麦秸盖田对夏玉米需水量、作物系数及水分利用效率的影响[J].水利与建筑工程学报,2009,7(4):1-3.(ZUO Yu bao,PANG Huan cheng,LI Yuyi,et al.Effects of Mulching Farm of Wheat Straw on CWS and CC and WUE of Summer Corn in North of Shandong Province [J].Journal of Water Resources and Architectural Engineering,2009,7(4):1-3.(in Chinese))
- [10] 左余宝,逢焕成,李玉义,等.鲁北地区秸秆覆盖对冬小麦需水量、作物系数及水分利用效率的影响[J].水利与建筑工程学报,2010,8(3):12-15.(ZUO Yu bao,PANG Huan cheng,LI Yuyi,et al.Effects of Straw Mulching on ETc and Kc and WUE of Winter Wheat in North of Shandong Province[J].Journal of Water Resources and Architectural Engineering,2010,8(3):12-15.(in Chinese))
- [11] 钟新才,李寿山,冯耀祖,等.干旱区水资源高效利用与农艺节

- 水[J]. 水利学报, 2005, (增刊): 355-357. (ZHONG Xir cai, LI Shou shan, FENG Yao zu, et al. Efficient Use of Water Resources in the Arid Area with Agronomic Water Saving[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005: (supp.): 355-357. (in Chinese))
- [12] 方日尧, 赵惠青, 方娟. 渭北旱原冬小麦不同覆盖栽培模式的节水效益研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 46-49. (FANG Ri yao, ZHAO Hui qing, FANG Juan. Water-saving Benefits of Different Mulching Cultivation Mode for Winter Wheat in Weibei Highland[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(2): 46-49. (in Chinese))
- [13] 强小嫚, 周新国, 李彩霞, 等. 不同水分处理下液膜覆盖对夏玉米生长及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 54-60. (QIANG Xiaoman, ZHOU Xin guo, LI Cai xia, et al. Effect of Liquid Film Mulching on Growth and Yield of Summer Maize under Different Soil Moisture Conditions[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(1): 54-60. (in Chinese))
- [14] 汪芳, 陈新春. 农作物秸秆利用现状及综合利用技术[J]. 农技服务, 2007, 24(8): 117. (WANG Fang, CHEN Xin chun. The Crop Straw Utilization and Comprehensive Utilization Technology[J]. Agricultural Technological Service, 2007, 24(8): 117. (in Chinese))
- [15] 周波, 刘登民, 劳秀荣, 等. 长期秸秆还田及休闲处理对土壤肥力的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(36): 16015-16019. (ZHOU Bo, LIU Deng min, LAO Xiu rong, et al. Effect of Returning Straw to Field in Long Time and Fallowing Treatment on soil Fertility[J]. Journal of Anhui Agri. Sci, 2008, 36(36): 16015-16019. (in Chinese))
- [16] 慕平, 张恩和, 王汉宁, 等. 不同年限全量玉米秸秆还田对玉米生长发育及土壤理化性状的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(3): 291-296. (MU Ping, ZHANG En he, WANG Han ning, et al. Effects of Continuous Straw Return to Soil on Maize Growth and Soil Chemical and Physical Characteristics[J]. Chinese Journal of Eco Agriculture, 2012, 20(3): 291-296. (in Chinese))
- [17] 姜洁, 陈宏, 赵秀兰. 农作物秸秆改良土壤的方式与应用现状[J]. 农业资源与环境科学, 2008, 24(8): 420-423. (JIANG Jie, CHEN Hong, ZHAO Xiu lan. The Application on Actuality and Methods of Meliorated soil with Crop Stalks[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(8): 420-423. (in Chinese))
- [18] 解文艳, 樊贵盛, 周怀平, 等. 秸秆还田方式对旱地玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 60-67. (XIE Wen yan, FAN Gui sheng, ZHOU Huaiping, et al. Effect of Straw incorporation on Corn Yield and Water Use Efficiency in Arid Farming Areas[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 60-67. (in Chinese))
- [19] 史桂芳, 毕军, 夏光利, 等. 秸秆还田与有机肥配施对冬小麦产量及性状的影响[J]. 江西农业学报, 2011, 23(9): 118-120. (SHI Gui fang, BI Jun, XIA Guang li, et al. Effects of Combined Application of Straw-returning and organic Fertilizer on Grain Yield and Traits of Winter Wheat[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2011, 23(9): 118-120. (in Chinese))
- [20] 陈宝燕, 马兴旺, 盛建东, 等. 新疆内陆干旱区棉花水肥耦合研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(13): 124-128. (CHEN Bao yan, MA Xing wang, SHENG Jian dong, et al. Research Progress about the Agricultural Technology Coupling Water with Fertilizer in Cotton Production in Arid Area of Xinjiang Inland[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(13): 124-128. (in Chinese))
- [21] 周欣, 滕云, 王孟雪, 等. 东北半干旱区大豆水肥耦合效益盆栽试验研究[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38(4): 441-445. (ZHOU Xin, TENG Yun, WANG Meng xue, et al. Effect of Water and Fertilizer Coupling on Soybean Yield in Northeast Semiarid Areas[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2007, 38(4): 441-445. (in Chinese))
- [22] 仲爽, 李严坤, 任安, 等. 不同水肥组合对玉米产量与耗水量的影响[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(2): 44-47. (ZHONG Shuang, LI Yan kun, REN An, et al. Effects of Different Water and Fertilizer Combinations on Yield and Water Consumption of Maize[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2009, 40(2): 44-47. (in Chinese))
- [23] 徐国伟, 王贺正, 陈明灿, 等. 水肥耦合对小麦产量及根际土壤环境的影响[J]. 作物杂志, 2012, (1): 35-38. (XU Guo wei, WANG He zheng, CHEN Ming can, et al. Effect of Coupling between Water and Fertilizer on Wheat Yield and Rhizosphere in Soil[J]. Crops, 2012, (1): 35-38. (in Chinese))
- [24] 侯彦林. 肥效评价的生态平衡施肥理论体系、指标体系及其实证[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7): 1257-1266. (HOU Yan lin. Theory System, Index System of Ecological Balanced Fertilization and Demonstration for Fertilizer Efficiency Evaluation[J]. Journal of Agro Environment Science, 2011, 30(7): 1257-1266. (in Chinese))
- [25] 汪顺生, 费良军, 高传昌, 等. 套种宽窄行对夏玉米生长发育及产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2011, 42(5): 626-629. Wang Shunsheng, Fei Liangjun, Gao Chuanchang, et al. Effect of Growth and Yield of Summer Maize on Different Wide narrow Row Spacing Mode[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2011, 42(5): 626-629. (in Chinese))
- [26] 胡志桥, 田霄鸿, 张久东, 等. 石羊河流域节水高产高效轮作模式研究[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(3): 561-567. (HU Zhi qiao, TIAN Xiao hong, ZHANG Jiurong, et al. High Efficiency Production and Water-saving Crop Rotation Systems in Shiyang River Area[J]. Chinese Journal of Eco Agriculture, 2011, 19(3): 561-567. (in Chinese))
- [27] 高传昌. 河南半干旱区农业高效用水研究与应用[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2012. (GAO Chuanchang. Efficient Water Use in Agriculture Research and Application of Semiarid Area in Henan[M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Publishing House, 2012. (in Chinese))
- [28] 杨永辉, 吴普特, 武继承, 等. 复水前后冬小麦光合生理特征对保水剂用量的响应[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 116-123. (YANG Yong hui, WU Pu te, WU Ji cheng, et al. Response of Photosynthetic Parameters of Winter Wheat before and after Rewatering to Different Rates of Water retaining Agent[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7): 116-123. (in Chinese))
- [29] 杨永辉, 吴普特, 武继承, 等. 保水剂对冬小麦不同生育阶段土壤水分及利用的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 19-26. (YANG Yong hui, WU Pu te, WU Ji cheng, et al. Impacts of Water retaining Agent on Soil Moisture and Water Use in Different Growth Stages of Winter Wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(12): 19-26. (in Chinese))
- [30] 王允青. 江淮丘陵地区玉米农艺节水技术研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(24): 201-203. (WANG Yun qing. Study on Agro-Water-Saving Technique for Maize in Jianghuai Hilly Region[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(24): 201-203. (in Chinese))