

# 灌溉后不同处理方式对土壤水分蒸发过程的影响

张兴娟<sup>1,2</sup>, 王志敏<sup>2</sup>, 郭文忠<sup>1</sup>, 李亮<sup>1</sup>, 李宁<sup>1</sup>, 薛绪掌<sup>1</sup>

(1. 国家农业智能装备工程技术研究中心, 北京 100097; 2. 中国农业大学, 北京 100193)

**摘要:** 土壤蒸发是土壤损失水分的重要途径, 在北方旱区土壤蒸发失水量可达同期降水量的 50% 或更多, 小麦全生育期田间土壤蒸发占农田蒸散量的 66%。因此, 研究土壤水分蒸发过程和减少土壤表面水分蒸发途径对于寻找高效合理的水资源利用方式具有重要意义。利用称重式蒸渗仪初步研究了灌溉后不同处理措施对土壤水分蒸发过程的影响。结果表明, 秸秆覆盖和高留茬对土壤水分蒸发的抑制作用主要表现在灌溉后土壤含水量较高的阶段内; 天气晴朗条件下日蒸发强度在 10:30 左右即达最大值, 秸秆覆盖和高留茬处理使其出现时间滞后; 土壤含水量较高时松土对土壤水分蒸发无抑制作用, 而在土壤含水量降低到一定程度时松土能明显抑制土壤水分蒸发。

**关键词:** 节水; 蒸发; 高效利用; 秸秆覆盖; 松土

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0074-05

中图分类号: S157.4

## Influences of Different Treatments on Soil Evaporation After Irrigation

ZHANG Xing-juan<sup>1,2</sup>, WANG Zhi-min<sup>2</sup>, GUO Wen-zhong<sup>1</sup>, LI Liang<sup>1</sup>, LI Ning<sup>1</sup>, XUE Xu-zhang<sup>1</sup>

(1. National Research Center for Agricultural Informatization Engineering and Technology, Beijing 100097, China; 2. Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract:** Soil evaporation (Es) is considered to be an important component of evapotranspiration (ET). In dry land of North China, the amount of water loss from soil through evaporation can take up to 50% or more of precipitation in the same period and during wheat growing season, evaporation can take up to 66% of field evapotranspiration. Research on soil evaporation and how to reduce soil evaporation is significant to find an approach to an efficient use of water resources. This preliminary study was conducted to examine the influences of different treatment measures on soil evaporation using a weighing lysimeter system. Results show that straw mulching and high stubble can restrain soil evaporation after irrigation when soil water content is high. In clear weather, soil evaporation intensity reaches the maximum at about 10:30 am, but straw mulching and high stubble can make it later. Loosing soil when soil water content is high cannot restrain soil evaporation, but it can significantly restrain soil evaporation when water content is reduced to a certain degree.

**Keywords:** water saving; evaporation; efficient use; straw mulch; loosing soil

华北平原是中国最大的平原之一, 区内光照充足, 热量资源丰富, 土地平整, 土壤肥沃, 实行一年两熟的耕作制度, 历来是中国最主要的粮食产区之一。但水资源不足, 分配不均正日益成为限制该区农业生产潜力发挥的主要障碍因素。因此, 发展节水农业势在必行。土壤-植被-大气 (SPAC) 理论的深入研究是节水农业发展的重要理论基础。在 SPAC 系统中, 土壤水分除经过作物蒸腾散失外, 土壤表面水分蒸发也是土壤水转移的一个重要途径<sup>[1]</sup>。因此, 降低土壤表面水分蒸发, 提高土壤水分利用效率是发展节水农业, 高效利用水资源的一项重要举措。要减少土

壤蒸发失水, 一是改变影响土壤表面蒸发的大气条件, 从而降低土壤水分蒸发速度; 二是改善土壤结构, 增强土壤自身的持水能力<sup>[2]</sup>。本试验从以上两方面入手对灌溉后的农田进行不同处理, 利用蒸渗仪系统对土壤水分变化进行连续监测, 进而对土壤水分蒸发过程及有效降低农田土壤表面水分蒸发方法进行研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点与设计

试验在北京市昌平区国家精准农业试验基地进行, 地理位置为北纬 40.17°, 东经 116.39°。试验利

收稿日期: 2012-09-10

修回日期: 2013-02-10

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于称重式蒸渗仪系统优化冬小麦节水高产栽培理论”(31171489); 公益性行业(农业)科研专项“北方冬小麦、玉米品种抗旱性和节水丰产性综合评价与关键配套技术研究”(200903007-1)

作者简介: 张兴娟(1987—), 女(汉族), 山东省临沂市人, 硕士, 主要研究方向为小麦水分生理及节水栽培。E-mail: zxj\_1213@126.com。

通信作者: 薛绪掌(1967—), 男(汉族), 陕西省韩城县人, 博士, 研究员, 主要从事农业节水方面的研究。E-mail: xuexz@nrcita.org.cn。

用 24 套小型称重式蒸渗仪系统进行,每个蒸渗仪地上部分土地表面积为  $0.75 \text{ m}^2$ ,土层深度为  $2 \text{ m}$ 。试验前耕层土壤容重为  $1.39 \text{ g/cm}^3$ ,全 N 含量为  $86.2 \text{ g/kg}$ ,速效 P 含量为  $21.5 \text{ mg/kg}$ ,速效 K 含量为  $83.5 \text{ mg/kg}$ 。

试验中每套蒸渗仪均配置美国进口杠杆式称重系统,采用平衡块抵消土箱和土重,使用重量传感器每隔  $5 \text{ min}$  对土体重量进行一次测定,在整个试验运行期间连续记录土体内水分变化的详细过程。测定耗水量的误差为  $1\sim 2 \text{ mm}$ ,测量的灵敏度为  $0.05\sim 0.1 \text{ mm}$ 。计算机自动控制采集数据,负压采集系统自动采集渗液。田间配备气象站,采集空气温湿度、光照、风速、降雨量等数据。

为研究灌溉后不同耕作措施在短期内对土壤水分蒸发的影响以及不同处理条件下土壤水分变化的详细过程,试验设置 5 个处理,1 个对照,分别为高留茬、秸秆覆盖、灌溉后第 1 d 松土、灌溉后第 2 d 松土、灌溉后第 3 d 松土、灌溉后不处理,每个处理设 4 个重复。具体操作是小麦收获时随机留出 4 个小区,剪掉麦穗留下秸秆作为高留茬,其余 20 个小区正常收获后每个小区灌水约  $30 \text{ kg}$ ,再从中随机选取 4 个小区分别盖上市量的秸秆。然后分别在灌溉后第 1~3 d 每天随机选取 4 个小区松土,最后剩余的 4 个小

区不进行处理,作为对照。

## 1.2 试验期间气象条件

试验时间为 2012 年 6 月 3 日至 2012 年 6 月 11 日,期间对试验地气象条件包括温度、湿度、风速和曝辐量等指标进行持续监测。监测结果显示,除 6 月 4 日气温较低,空气湿度较高外,其他时段内气温及湿度变化均较平稳;6 月 6 日和 9 日风速较低,空气流动较慢,10 日与 11 日短小时内出现大风,其他时段内较平稳;曝辐量变化一直较平稳。

同时,为避免降雨、相邻地块灌溉等因素对试验造成影响,降雨时在试验地上方约两米处打开遮雨棚,相邻地块灌溉时在试验地边界设置阻隔,防止外界水分进入。

## 1.3 数据分析

利用 Microsoft excel 2007 对数据进行处理,采用 SAS 9.2 进行显著性分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 总蒸发量变化

由表 1 可以看出,试验期间,秸秆覆盖和灌溉后第 3 d 松土的处理土壤总蒸发量显著低于其他处理,高留茬、灌溉后第 1 d 和灌溉后第 2 d 松土的处理土壤总蒸发量与对照无显著差异。

表 1 灌溉后不同处理条件下的总蒸发量

处理	秸秆覆盖	高留茬	灌溉后第 1 d 松土	灌溉后第 2 d 松土	灌溉后第 3 d 松土	灌溉后不处理
总蒸发量/mm	10.495 4b	12.764 4a	11.684 1ab	11.697 5ab	10.570 0b	12.644 2a

注:不同小写字母表示统计显著性差异( $p < 0.05$ );相同小写字母表示差异不显著( $p > 0.05$ )。

## 2.2 蒸散过程变化

图 1 为不同处理条件下,土体水分蒸发量的变化过程。由于处理完成后,试验小区内没有外界水分的介入,地表也没有作物覆盖,土体水分损失可完全看作是土壤蒸发造成的。由图 1 看出,整体上,灌溉后各处理前期蒸发迅速,蒸发量迅速上升,后期均变缓。白天和夜间蒸发速率差距明显,白天蒸发迅速,夜间蒸发相当缓慢。对于不同处理,灌溉后第 1 d 松土与第 2 d 松土的蒸发过程与对照(灌溉后不处理)基本吻合,但灌溉后第 1 d 松土的处理在灌溉后约 2 d 的时间内蒸发速率比对照稍快。高留茬处理的蒸发量变化趋势为前期相对缓慢,第 7 d 迅速上升之后与对照基本吻合。秸秆覆盖处理前期蒸发较对照慢,后期较对照快,整个试验期间蒸发速率前后差距比对照小,整体蒸发量也明显较对照低。灌溉后第 3 d 松土的处理前期蒸发速率和对照无明显差距,后期蒸发越来越缓慢,与对照间的差距也随时间延长越来越明显。最

终,秸秆覆盖与灌溉后第 3 d 松土的处理总蒸发量明显较对照低。其他处理和对照间差距不大。

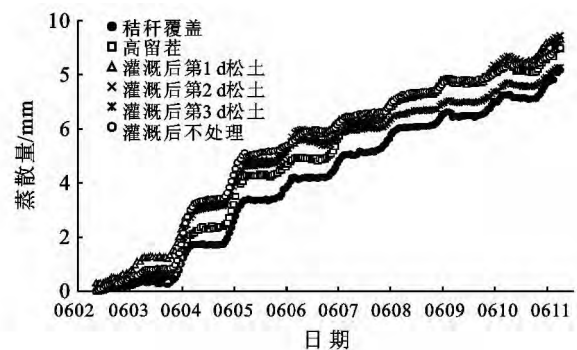


图 1 不同处理条件下的土壤水分蒸发过程

## 2.3 蒸发速率变化

2.3.1 不同处理条件下土壤水分蒸发速率变化 由图 2 可知,6 月 2 日至 5 日间土壤蒸发强烈,秸秆覆盖及高留茬在这一时期日蒸发速率显著低于其他处理,

抑制土壤水分蒸发作用明显,而在 6 月 6 日以后这两种处理方式对水分蒸发速率的影响减小,说明秸秆覆盖及高留茬抑制水分蒸发的作用主要表现在灌溉后的较短时间内。松土对 6 月 6 日以后的水分蒸发速

率有重要影响,且因处理时间的不同而表现出很大的差异。灌溉后第 1,2 d 松土的处理在试验后期的日蒸发速率最大值比对照高,而灌溉后第 3 d 松土的处理日蒸发速率最大值明显低于对照。

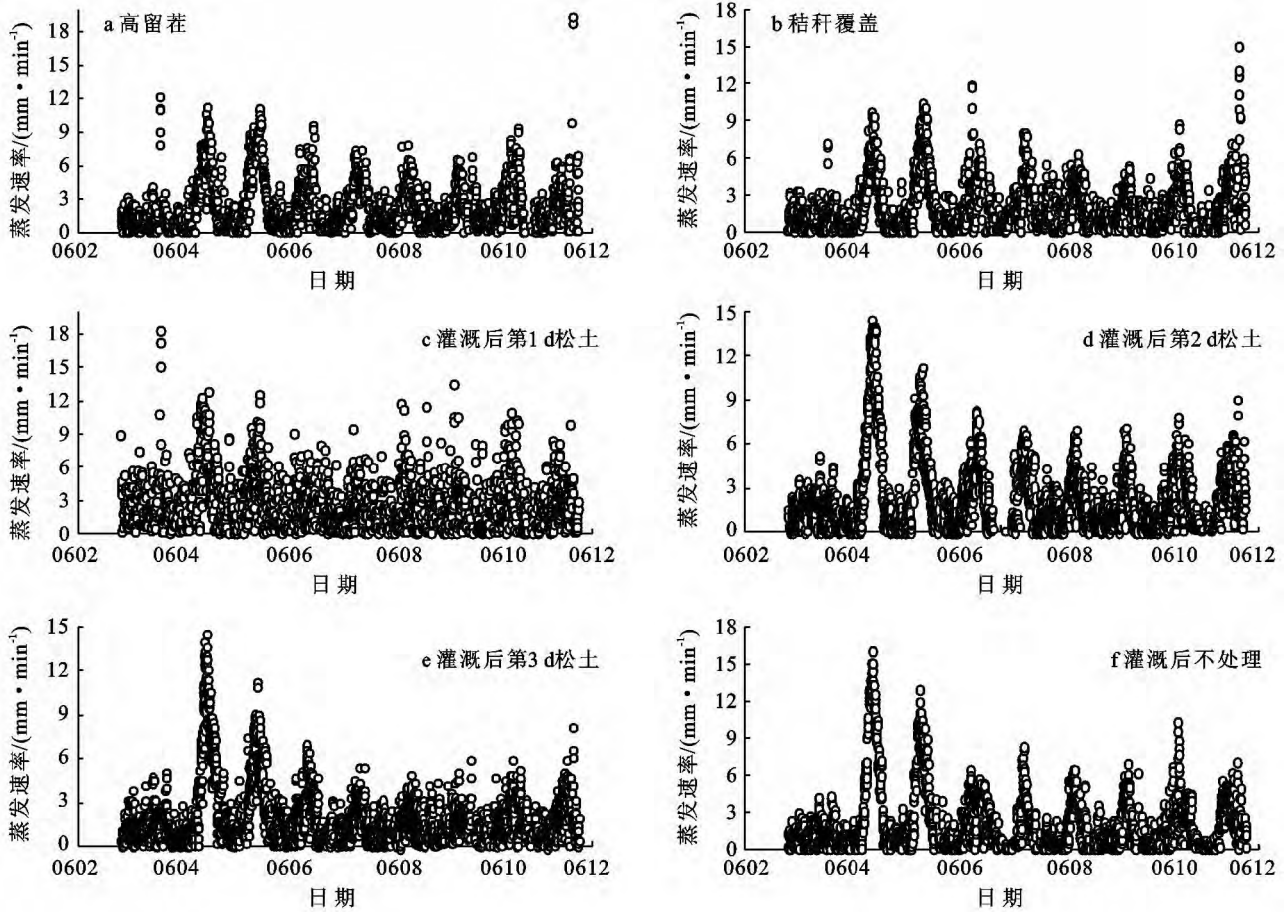


图 2 不同处理条件下的蒸发速度变化

2.3.2 秸秆覆盖及高留茬对土壤日蒸发速率最大值出现时间的影响 试验前期土壤含水量较高,蒸发过程主要受外界气象条件如温度、湿度及风速等因素的影响。

为探究覆盖条件与无覆盖条件下土壤蒸发过程

的差异,对 6 月 5 日秸秆覆盖与高留茬处理的蒸发速率变化过程与对照进行比较。由图 3 可知,天气晴朗条件下日蒸发强度在 10:30 左右即达最大值,提前于曝辐量最大值出现时间,秸秆覆盖和高留茬处理使其出现时间推迟。

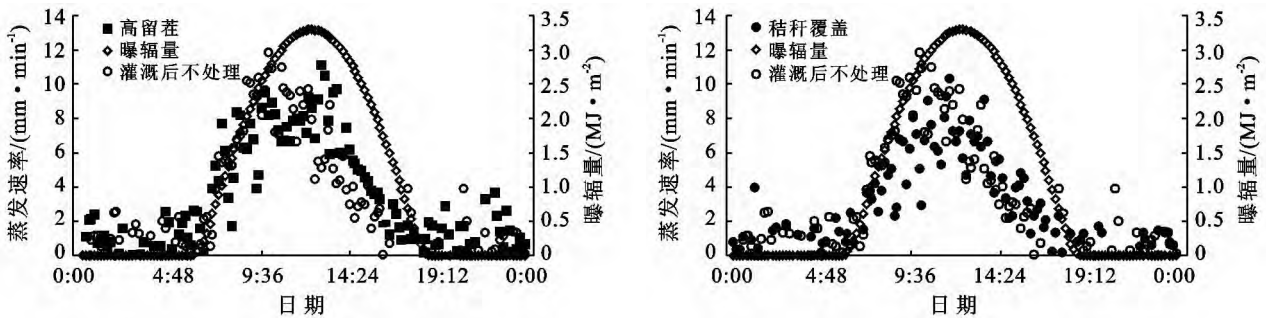


图 3 不同处理条件下土壤日蒸发速率变化

2.4 日蒸发量变化

以每天 6:00—18:00 的蒸发量变化为日蒸发量,

绘制试验期间不同处理条件下日蒸发量的变化图(图 4)。由图 4 看出,正常条件即灌溉后不处理的条件

下,前期蒸发迅速,后期逐渐变缓,而且灌溉后第 2 d 蒸发最快,第 4 d 开始变得很慢。和其他处理相比,秸秆覆盖处理前期日蒸发量最低,后期较高,前期与后期日蒸发量的差距小。高留茬处理前期蒸发较慢,6 月 7 日蒸发量较其他处理高,且不同时期的日蒸发量差距较大。高留茬和秸秆覆盖处理日蒸发量最大值出现的时间也较其他处理稍晚。灌溉后第 1 d 松土的处理前期日蒸发量较对照低,后期比对照稍高。灌溉后第 2 d 松土的处理整个过程中日蒸发量稍高于对照。灌溉后第 3 d 松土的处理,前期日蒸发量比对照稍低,比其他处理高,后期日蒸发量最低。

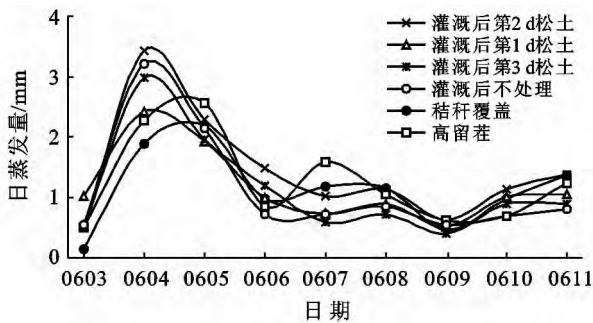


图 4 不同处理条件下的日蒸发量变化

### 3 讨论

土壤水分蒸发是土壤水分向大气运动转化的重要形式。此过程受外界气象条件如太阳辐射、气温、地温、湿度、风速、降水及其入渗方式等和土壤状况如土壤含水量、地表特性、土壤中毛管的输送能力等土壤内在因素的影响。王政友<sup>[3]</sup>研究表明,初始期土壤完全饱和,土壤表层的蒸发消耗得到充分补给,此时土壤蒸发只受气象条件的影响。当土壤表层干化时,土壤蒸发主要受土壤因素的影响。该试验期间大气状况和土壤含水量是影响土壤蒸发的主要因素。

本试验中秸秆覆盖和高留茬对抑制土壤水分蒸发作用的研究表明,与其他处理相比秸秆覆盖的处理前期蒸发慢,后期较快,前期与后期的蒸发速率差距小;高留茬小区前期蒸发相对缓慢,第 7 d 迅速上升之后与对照基本吻合。分析认为,试验前期蒸发速率大,小区蒸发处于毛细管运行阶段,地表蒸发强烈。此时进行秸秆覆盖能阻隔土壤表层与大气间的气体流动,显著降低土壤水分蒸发。高留茬也能降低地表温度<sup>[4-5]</sup>,部分地减弱土壤表层与大气间的空气流动,降低土壤表层水分蒸发,但效果不如秸秆覆盖明显。同时,已有研究表明<sup>[6]</sup>,秸秆覆盖还能显著降低土壤容重,使土壤孔隙度增加,提高灌溉时水分的入渗量,抑制水分蒸发。秸秆覆盖对光辐射吸收转化和热量

传导均有影响<sup>[7-10]</sup>,可在地表形成一层土壤与大气热交换的障碍层,既可阻止太阳直接辐射,也可减少土壤热量向大气中散发,同时还有效地反射长波辐射。沈裕琥等<sup>[11]</sup>研究也表明秸秆覆盖下土壤温度年、日变化均趋缓和,低温时有“增温效应”,高温时又有“低温效应”<sup>[5,12]</sup>。因此,秸秆覆盖处理后蒸发较其他处理快。

已往研究也表明<sup>[13-14]</sup>,秸秆覆盖下作物生育前期蒸散耗水比裸地少,中后期蒸散耗水比裸地多。而高留茬处理的总蒸发量在 6 月 7 日迅速上升后,变化趋势和对照无明显差异,最终的总蒸发量也和对照基本相同,这与以往的研究结果<sup>[5,12]</sup>即留茬对土壤蒸发有明显抑制作用的说法不一致,可能是由于前期蒸发进程的减慢,使得 6 月 7 日秸秆覆盖和高留茬处理的土壤含水量比其他处理高,更易受气候条件的影响,在 6 月 7 日这样的大风以及空气湿度较低条件下日蒸发量就会迅速上升,特别是高留茬的小区还有部分地表裸露。因此,高留茬在灌溉后的较短时期内,特别是大风、干燥气候条件下不一定会降低土壤的总蒸发量。

本试验在灌溉后不同时间分别进行松土以探讨松土对土壤蒸发过程的影响,结果表明灌溉后第 1, 2 d 松土不能抑制土壤水分蒸发,而灌溉后第 3 d 松土抑制土壤水分蒸发作用显著。松土的作用主要是切断土壤表层与下层间的毛管联系,阻断下层水分的毛管上升,而在灌溉后 1, 2 d 内土壤水分接近饱和,这一阶段土壤表层 3—5 cm 的含水量对蒸发起决定性作用,下层影响小。因此灌溉后第 1, 2 d 松土在这一阶段不能起到显著的抑制土壤蒸发的作用。灌溉后第 3 d 表层土壤水分降低,下层水分通过毛细管不断向地表运行,为地表蒸发提供水分来源,此时松土能有效切断下层土壤水分向土壤表层的运行从而减弱土壤水分蒸发。因此,灌溉后第 3 d 松土对降低土壤水分蒸发的作用随试验进行越来越明显。松土对于土壤水分蒸发的影响已有研究<sup>[2]</sup>,但对于灌溉后不同时期松土对土壤水分蒸发影响的研究还很少见,此研究对这一问题进行了初步探索,表明灌溉后土壤水分达到特定程度时松土能够对土壤水分蒸发起到很好的抑制作用,而松土时机不适宜抑制土壤水分蒸发的效果将显著下降。这一研究结果为指导农业适时松土,减少土壤水分无用消耗提供了理论依据。对于达到最佳松土时机时的土壤含水量还有待进一步研究确定。

天气晴朗条件下日蒸发强度在 10:30 左右即达最大值,提前于曝辐量最大值出现时间,秸秆覆盖和

高留茬处理使其出现时间推迟。分析认为,由于白天秸秆对太阳辐射的反射造成地表温度较正常情况下低,蒸发减慢,造成日蒸发强度最大值出现滞后。

#### 4 结论

(1) 秸秆覆盖和高留茬对土壤水分蒸发的抑制作用主要表现在灌溉后土壤含水量较高的阶段内。

(2) 天气晴朗条件下日蒸发强度在 10:30 左右即达最大值,提前于曝辐量最大值出现时间,秸秆覆盖和高留茬处理使其出现时间推迟。

(3) 土壤含水量较高时松土对土壤水分蒸发无抑制作用,而在土壤含水量降低到一定程度时松土能明显抑制土壤水分蒸发。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 刘昌明. 土壤—植物—大气系统水分运行的界面过程研究[J]. 地理学报, 1997, 52(4): 366-372.
- [2] 程维新, 赵家义. 关于灌溉农田作物耗水量研究[M]. 北京: 气候出版社, 1994.
- [3] 王政友. 土壤水分蒸发的影响因素分析[J]. 山西水利, 2003(2): 26-29.
- [4] 张立强, 汪有科, 员学峰, 等. 小麦高留茬田间水分效应研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(11): 461-466.
- [5] 由愚正, 张喜英. 小麦高留茬覆盖的生态农业意义[J].

生态农业研究, 1999, 7(2): 53-55.

- [6] 高建华, 张承中. 不同保护性耕作措施对黄土高原旱作农田土壤物理结构的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(4): 192-196.
- [7] 袁家富. 麦田秸秆覆盖效应及增产作用[J]. 生态农业研究, 1996, 4(3): 61-65.
- [8] 周凌云, 周刘宗, 徐梦雄. 农田秸秆覆盖节水效应研究[J]. 生态农业研究, 1996, 4(3): 49-52.
- [9] 李春勃, 范丙全, 孟春香, 等. 麦秸覆盖旱地棉田少耕培肥效果[J]. 生态农业研究, 1995, 3(3): 52-55.
- [10] Flerchinger G N, Sauer T J, Aiken R A. Effects of crop residue cover and architecture on heat and water transfer at the soil surface[J]. Geoderma, 2003, 116(1): 217-233.
- [11] 沈裕琥, 黄相国, 王海庆. 秸秆覆盖的农田效应[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(1): 46-50.
- [12] 王会肖, 刘昌明. 农田蒸散、土壤蒸发与水分有效利用[J]. 地理学报, 1997, 52(5): 447-454.
- [13] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 等. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2326-2332.
- [14] Balwinder-Singh. The effect of rice straw mulch on evapotranspiration, anspiration and soil evaporation of irrigated wheat in Punjab, India [J]. Agricultural Water Management, 2011, 98(12): 1847-1855.

(上接第 73 页)

由此可见,畦灌有利于杨树根系的合理分布,扩大了根系对水分和养分的吸收空间,并且能减少硝态氮的深层淋溶,这对于提高杨树潜在生产力、肥料利用率和保护地下水环境具有重要意义。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 曾小平, 赵平, 彭少麟. 鹤山人工马占相思林水分生态研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(1): 69-73.
- [2] 孙祥, 于卓. 白刺根系的研究[J]. 中国沙漠, 1992, 12(4): 50-54.
- [3] Jackson R B, Canadell J, Mooney H A. A global analysis of root distribution for terrestrial blomes[J]. Oecologia, 1996, 180(3): 389-411.
- [4] Gale M R, Grigal D E. Vertical root distribution of northern tree species in relation to successional status [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1987, 17(8): 829-834.
- [5] 齐广平, 张恩和. 膜下滴灌条件下不同灌溉量对番茄根系分布和产量的影响[J]. 中国沙漠, 2009, 29(3): 463-467.
- [6] 韦彦, 孙丽萍, 王树忠, 等. 灌溉方式对温室黄瓜灌溉水分分配及硝态氮运移的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26

(8): 67-72.

- [7] 闫映宇, 赵成义, 盛钰, 等. 膜下滴灌对棉花根系、地上部分生物量及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 970-976.
- [8] 孙丽萍, 温永刚, 王树忠, 等. 灌水量对日光温室黄瓜水分分配及硝态氮运移的影响[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(1): 93-99.
- [9] Huston M A, Smith T M. Plant succession; Life history and competition [J]. The American Naturalist, 1987, 130(2): 168-198.
- [10] 李生宇, 李红忠, 雷加强, 等. 塔克拉玛干沙漠高矿化度水灌溉苗木地下生物量研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(5): 999-1006.
- [11] 张宇清, 朱清科, 齐实. 梯田生物埂几种灌木根系的垂直分布特征[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(2): 34-38.
- [12] 秦艳, 王林和, 张国盛, 等. 毛乌素沙地臭柏与油蒿群落细根生物量的季节动态及其空间变化[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 455-461.
- [13] Hu Jichao, Cao Weixing, Zhang Jiabao, et al. Quantifying responses of winter wheat physiological processes to soil water stress for use in growth simulation modeling [J]. Pedosphere, 2004, 14(4): 509-518.