

## 河套灌区套种模式下综合作物系数的试验研究

戴佳信<sup>1</sup>, 李就好<sup>1</sup>, 史海滨<sup>2</sup>, 朱丽<sup>3</sup>, 田德龙<sup>4</sup>, 闫建文<sup>2</sup>, 夏玉红<sup>5</sup>

(1. 华南农业大学水利与土木建筑工程学院, 广州 510642; 2. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018; 3. 内蒙古鄂尔多斯市伊金霍洛旗水利队, 内蒙古鄂尔多斯 017200;

4. 中国水利水电科学研究院 牧区水利科学研究所, 呼和浩特 010020;

5. 内蒙古巴彦淖尔市水利科学研究所, 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

**摘要:**依据FAO56作物需水量指南提供的作物系数计算方法,分别计算了内蒙古河套灌区磴口试验站小麦套种覆膜玉米、小麦套种未覆膜玉米、小麦套种油料向日葵3种套种模式下的综合单、双值作物系数。结果表明,3种套种模式下的作物在全生育期内均可迎来2次综合需水高峰;共生阶段的作物系数,单值方法高于双值方法的计算结果,而单一作物独立生长阶段,双值方法高于单值方法的计算结果;无论单值计算还是双值计算的套种作物田间综合ET,当单一作物处于独立生长期时差别不大,而2种作物共同生育阶段的差别较大;将3种作物在套种模式下的生育阶段划分的更加详细并分别命名,为套种模式下作物蒸散量提供更准确的计算依据。

**关键词:**套种模式;综合作物系数;综合ET;小麦;玉米;油料向日葵

中图分类号: S274.1

文献标志码: A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.01.002

戴佳信,李就好,史海滨,等. 河套灌区套种模式下综合作物系数的试验研究[J]. 灌溉排水学报,2017,36(1):9-15.

### 0 引言

间作与套种模式早在东汉时期就已经出现,有着悠久的历史。近年来我国人口的增长与耕地面积的相对减少为该农业栽培技术精华模式的发展提供了广阔的天地。据预测,间作套种在未来半个世纪内的增产贡献率将达到27%左右<sup>[1]</sup>。国家和地方继续鼓励开展轮作和间作套作等<sup>[2]</sup>,提高土地利用效率<sup>[3]</sup>。关于间作套种模式作物需水量的研究,很多学者做了大量贡献。王仰仁等<sup>[4-5]</sup>对30余种间作套种作物的需水量与需水特性进行了研究,用加权平均法对单作种植作物需水量计算基础上的作物系数进行修正,提出了组合种植条件下的作物需水量计算模式;刘朝巍等<sup>[6]</sup>从籽粒产量、水分利用效率和纯收益等方面研究确定立茬种植方式为甘肃省河西绿洲灌区小麦/玉米最佳种植模式。柴强等<sup>[7]</sup>通过大田试验,研究不同供水水平下交替灌溉小麦间作玉米的耗水量、土面蒸发特征及其主要影响因子,通过单间作对比,获得小麦间作玉米耗水量较单作小麦、玉米耗水量的加权平均高12.7%~20.1%。戴佳信等<sup>[8-9]</sup>通过2 a大田试验确定了河套灌区小麦、玉米、油料向日葵3种主要粮油作物的作物系数。但目前针对干旱半干旱地区重要的粮油基地河套灌区套种模式下作物系数与综合需水量的研究鲜有报道。兹依据FAO56作物需水量指南提供的作物系数计算方法,分别计算内蒙古河套灌区磴口试验站小麦套种覆膜玉米、小麦套种未覆膜玉米、小麦套种油料向日葵3种套种模式下的综合单、双值作物系数,并进行浅薄分析研究。通过大田试验拟得到适合该地区主要种植模式,即套种情况下的小麦套种覆膜玉米、小麦套种未覆膜玉米与小麦套种油料向日葵3种模式下综合的单双值作物系数,为该地区主要粮油作物在套种模式下的作物蒸散量提供更准确的计算依据,方便符合实际的灌溉制度的确定,从而为河套灌区节水农业、降低引黄水量建立可靠的基础资料。

收稿日期:2016-04-26

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAD88B04);国家自然科学基金项目(50769004);内蒙古农业大学科技创新团队建设计划项目(NDTD2010-7)

作者简介:戴佳信(1983-),女,博士,主要从事节水灌溉新技术方面研究。E-mail: free-gn@163.com

通信作者:史海滨(1961-),男,教授,博士生导师,博士,主要从事节水灌溉原理及应用方面的研究。E-mail: shihaibin@sohu.com

# 1 材料与方方法

试验于2009—2010年在内蒙古河套灌区西部磴口县坝楞村节水农业试验示范区进行,该试验示范区位于干旱半干旱、半荒漠草原地带,具体地理位置为北纬40°24'32",东经107°02'19",海拔1998 m;年平均气温7.0℃;年均日照时间3180 h,年均降水量为193.4 mm,且主要集中在7—9月;年均蒸发量2359.5 mm;年均风速2.75 m/s,最大风速达19.5 m/s;多年平均无霜期130 d;冻土层厚度1.15 m,冻融历时180 d左右,为典型中温带大陆性季风气候。经测定,获得该站田间持水率为23.41%(质量),体积质量为1.48 g/cm<sup>3</sup>,土质为砂质黏壤土。试验设套种模式3个处理,分别为小麦套种覆膜玉米、小麦套种未覆膜玉米、小麦套种油料向日葵。每种模式均设3个重复,共9个小区,小区布置图如图1所示。各小区周边用高为30 cm、顶宽为30 cm、底宽为50 cm的田埂与50 cm宽的隔离带分隔,以避免相互影响。小麦套种玉米小区尺寸:4.5 m×15 m,其中小麦带宽2.4 m,行距13 cm;覆膜、未覆膜玉米带宽1.8 m,株距35 cm,覆膜玉米覆2膜,1膜2行,每膜70 cm宽,玉米带与小麦带之间间隔30 cm。小麦套种油料向日葵小区尺寸:4.5 m×15 m,其中小麦带宽2.4 m,行距13 cm;油料向日葵带宽1.8 m,株距35 cm,油料向日葵带与小麦带之间间隔30 cm。

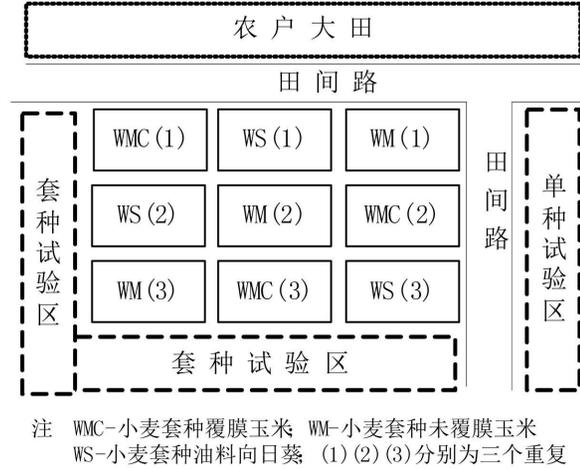


图1 小区布置示意图

各处理均按现行灌溉制度灌溉,灌水定额为82.5 mm;灌溉时间依照黄河来水时间;全生育期灌水次数:套种玉米6次,套种油料向日葵3次。

土壤含水率采用取土烘干法与TRIME-IPH土壤水分测量仪结合测定,5~7 d测定1次;套种田块中,按不同作物和作物间分别取样,采样层次及深度:0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm,灌水及降雨前后加测。气象数据采用HOBO微型自动气象站常规以1 h采样间隔自动记录监测。试验材料均采用目前河套灌区农民使用的常规品种,小麦:永良4号,抗倒伏性强,生育期120 d左右,3月23日前后播种;玉米:巴单3号,耐旱抗病抗倒伏且高产产量稳定,4月21日前后播种,生育期140 d左右;油料向日葵:562号,耐盐耐旱,5月28日前后播种,生育期100 d左右。

根据FAO56推荐的套种模式下2种作物的综合作物系数( $K_{c\text{field}}$ )公式计算作物系数,即:

$$K_{c\text{field}} = \frac{f_1 h_1 K_{c1} + f_2 h_2 K_{c2}}{f_1 h_1 + f_2 h_2} \quad (1)$$

由于作物的各生育阶段的生长状况不同,因此*i*生育期综合作物系数( $K_{c\text{field}}$ )公式调整为:

$$K_{ci\text{field}} = \frac{f_1 h_{1i} K_{c1i} + f_2 h_{2i} K_{c2i}}{f_1 h_{1i} + f_2 h_{2i}} \quad (2)$$

式中: $f_1$ 和 $f_2$ 分别为套种模式下2种作物的种植比例,即每小区中小麦和玉米(油料向日葵)的种植面积分别占各小区总面积的百分比,本试验中, $f_1=f_{\text{小麦}}=53\%$ , $f_2=f_{\text{玉米(覆膜/未覆膜/油葵)}}=40\%$ ; $h_{1i}$ 和 $h_{2i}$ 分别为2种作物的各个生育阶段的平均株高, $K_{c1i}$ 和 $K_{c2i}$ 分别是2种作物对应生育阶段的作物系数,采用FAO56作物需水量指南推荐的参考作物 $ET_0$ 、作物系数计算方法<sup>[10-15]</sup>与相应单一作物土壤与 $ET$ 的实测数据<sup>[8]</sup>,分别计算出2种作物的逐日单双值作物系数,再按照求均值的方法获得不同生育阶段的 $K_{c1i}$ 、 $K_{c2i}$ ,分别代入式(2),如下角标识。

## 2 套种模式下田间综合作物系数

### 2.1 小麦套种玉米

小麦套种玉米的生长期从小麦播种日(3月23日)即日序数第82天起(日序数按2009年计,2010年为补充试验),至覆膜玉米收获日(9月17日)即日序数第260天止,未覆膜玉米收获日为(9月23日)日序数第266天。小麦套种覆膜玉米与小麦套种未覆膜玉米的田间综合作物系数 $K_{c\text{field}}$ 如表1所示。

表1 小麦套种覆膜玉米田间综合作物系数 $K_{c\text{ field}}$ 

生育期	小麦独立生长期		共生期		玉米独立生长期	
	阶段1 (小麦独立 生长初期)	阶段2 (小麦快速生 长期-玉米初期)	阶段3 (小麦稳定生 长期-玉米快速期)	阶段4 (小麦末期-玉米 快速期)	阶段5 (玉米独立 生长稳定期)	阶段6 (玉米独立 生长末期)
覆膜	日序数 第82~110天	第111~154天	第155~172天	第173~193天	第194~221天	第222~260天
$K_{\text{single field}}$	0.605	0.899	1.107	0.668	1.118	0.542
$K_{\text{dual field}}$	0.606	0.792	1.080	0.570	1.440	0.524
未覆膜	日序数 第82~110天	第111~154天	第155~172天	第173~193天	第194~227天	第228~266天
$K_{\text{single field}}$	0.605	0.898	1.089	0.616	1.134	0.564
$K_{\text{dual field}}$	0.606	0.787	1.079	0.529	1.345	0.534

表1中,阶段1为小麦独立生长初期,日序数在第82~110天(3月23日—4月20日),此时无论覆膜玉米还是未覆膜玉米都未播种,预留地面积相同,因此田间综合作物系数相同;此阶段,单双值计算结果差别并不明显。

阶段2为小麦和玉米2种作物的第一个共生期,即小麦的快速生长期与玉米苗期的共生阶段,日序数第111~154天(4月21日—6月3日),此时套覆膜玉米的田间综合作物系数略微高于套未覆膜者,原因是地膜覆盖初期提升地温,其保暖作用有利于玉米出苗(覆膜者较未覆膜者出苗时间提前2 d左右),而同时未覆膜者裸地面积相对来说较大,此阶段以土壤蒸发为主,但是计算结果表明,前者综合蒸腾蒸散量略高于后者,因此使得套覆膜玉米的田间综合系数略高;此阶段单值方法高于双值方法的计算结果。

阶段3、阶段4分别为2种作物第2个和第3个共生期,日序数分别为第155~172天(6月4—21日)与第173~193天(6月22日—7月12日),这2个阶段分别处于小麦的生长中期和末期,而此时玉米处于快速生长期阶段,即拔节—抽雄初期,此阶段玉米耗水量比较大,同时覆膜玉米由于地膜的覆盖,既保水又压草,较未覆膜玉米长势迅速且旺盛,使其作物系数稍高于未覆膜者;这2个阶段,单值方法高于双值方法的计算结果。

阶段5和阶段6分别为小麦收割后玉米独立生长中期和独立生长末期,套覆膜玉米的日序数分别为194~221天(7月13日—8月9日)与222~260天(8月10日—9月17日),套未覆膜玉米的日序数为194~227天(7月13日—8月15日)与228~266天(8月16日—9月23日)。这2个阶段的玉米分别处于吐丝—灌浆期与成熟期,由于未覆膜玉米较覆膜玉米生育期推迟且延长,对应阶段蒸腾蒸散量的变化趋势也相应滞后,并且地表裸露土壤蒸发量也高于地膜覆盖的地表,其作物系数高于覆膜者。

## 2.2 小麦套种油料向日葵

小麦套种油料向日葵的生长期从小麦播种第一天(3月23日)即日序数第82天起,至油料向日葵(9月23日)即日序数第266天止。小麦套种油料向日葵的田间综合作物系数 $K_{c\text{ field}}$ 如表2所示。

表2 小麦套种油料向日葵田间综合作物系数 $K_{c\text{ field}}$ 

生育期	小麦独立生长期		共生期		油料向日葵独立生长期		
	阶段1 (小麦独立生 长初期)	阶段2 (小麦独立 快速生长期)	阶段3 (小麦稳定生长期- 油料向日葵初期)	阶段4 (小麦末期-油料 向日葵初期)	阶段5 (油料向日葵独 立快速生长期)	阶段6 (油料向日葵独 立生长稳定期)	阶段7 (油料向日葵独 立生长末期)
日序数	第82~110天	第111~154天	第155~172天	第173~193天	第194~213天	第214~237天	第238~266天
$K_{\text{single field}}$	0.605	0.946	1.101	0.384	0.751	0.804	0.350
$K_{\text{dual field}}$	0.606	0.805	1.261	0.419	0.546	1.023	0.353

如表2所示,阶段1和阶段2为小麦单独生长初期和快速生长期,日序数分别为第82~110天(3月23日—4月20日)与第111~154天(4月21日—6月3日),分别命名为小麦独立生长初期与小麦独立快速生长期。

阶段3和阶段4即为小麦和油料向日葵共生期1和共生期2,分别为小麦的生长中期和末期,日序数分别为第155~172天(6月4—21日)与第173~193天(6月22日—7月12日),此时油料向日葵处于播种—苗期阶段,分别命名为小麦稳定油料向日葵初期与小麦末油料向日葵初期;单值结果低于双值计算结果。

阶段5、阶段6、阶段7分别为油料向日葵独立快速生长期、油料向日葵独立生长稳定期和油料向日葵独

立生长末期,日序数分别为第194~213天(7月13日—8月1日)、第214~237天(8月2—25日)、第238~266天(8月26日—9月23日);单值结果普遍低于双值计算结果。

综上,套种模式下,无论单种作物独立生长期还是2种作物共生期,有作物快速生长期(阶段2和阶段5)出现的阶段,单值作物系数较双值作物系数计算结果偏高(套种玉米最后一个阶段除外),其他阶段相反。

### 3 结果与分析

#### 3.1 单双值作物系数计算套种模式下综合ET的相关性比较

根据表1—表2单双值作物系数结果与Penman-Monteith公式,分别计算河套灌区磴口站小麦套种覆膜玉米、小麦套种未覆膜玉米、小麦套种油料向日葵3种套种模式下作物综合ET,单值与双值方法计算的ET之间的线性相关关系比较结果、回归方程以及决定系数如图2所示。3种套种模式全生育期的综合ET相关性较2种方法计算单种情况的ET相关性<sup>[6]</sup>更为良好。由于套种模式均有2种作物参与,且每种作物都经历其生育早、中、晚3个时期,期间交错进行,因此全生育期ET变化复杂。由图2所示,数据点在1:1线上下均有分布,双值计算结果大于单值计算结果的区间,即分布在1:1线之上的数据点为:小麦套种覆膜玉米分布在第194~221天内,小麦套种未覆膜玉米分布在第194~227天内,小麦套种油料向日葵分布在第155~193天和第214~266天内。小麦套种覆膜玉米与小麦套种未覆膜玉米的双值作物系数计算的田间综合ET普遍低于单值系数的计算结果,而小麦套种油料向日葵的双值作物系数计算的田间综合ET普遍高于单值系数的计算结果,不排除单值或最值的符合性。

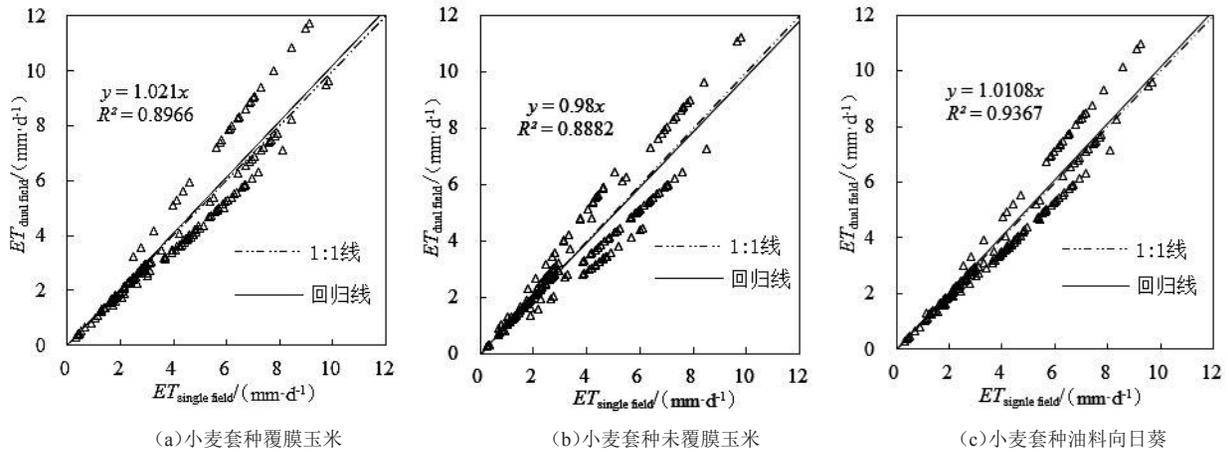


图2 综合单双值作物系数计算套种作物ET相关性比较

#### 3.2 套种模式下的田间综合ET

##### 3.2.1 小麦套种玉米

单值作物系数法计算河套灌区磴口站小麦套种覆膜玉米与小麦套种未覆膜玉米模式下综合ET与实测ET全生育期内变化曲线如图3、图4所示。针对小麦套种玉米的种植模式,由上文分析的阶段3、阶段5分别处于小麦和玉米的稳定生长期,此时玉米处于快速生长期阶段,研究表明,这2个阶段分别迎来2次综合需水高峰,分别为小麦稳定玉米快速期(日序数第170天附近:小麦灌浆—玉米拔节阶段,小麦套种覆膜玉米的田间综合ET为9.86 mm/d,小麦套种未覆膜玉米的田间综合ET为9.70 mm/d)和玉米独立稳定期(日序数第200天前:玉米吐丝—灌浆阶段,小麦套种覆膜玉米的田间综合ET为9.11 mm/d,小麦套种未覆膜玉米的田间综合ET为9.24 mm/d)。

双值作物系数法计算小麦套种玉米模式下的综合ET与实测ET如图3、图4所示。由图3和图4可知,双值作物法计算的综合ET和实测ET同样也经历2次综合需水高峰,即阶段3和阶段5,分别为小麦稳定玉米快速期(日序数第170天附近:小麦灌浆—玉米拔节阶段,小麦套种覆膜玉米的田间综合ET为9.61 mm/d,小麦套种未覆膜玉米的田间综合ET为9.48 mm/d)和玉米独立稳定期(日序数第200天前:玉米吐丝—灌浆阶段,小麦套种覆膜玉米的田间综合ET为11.74 mm/d,小麦套种未覆膜玉米的田间综合ET为10.96 mm/d)。由图3、图4可以看出,双值作物系数计算的第二个需水高峰期的ET明显高于单值作物系数的计算结果(ET-S、ET-D分别为单、双作物系数计算结果)。

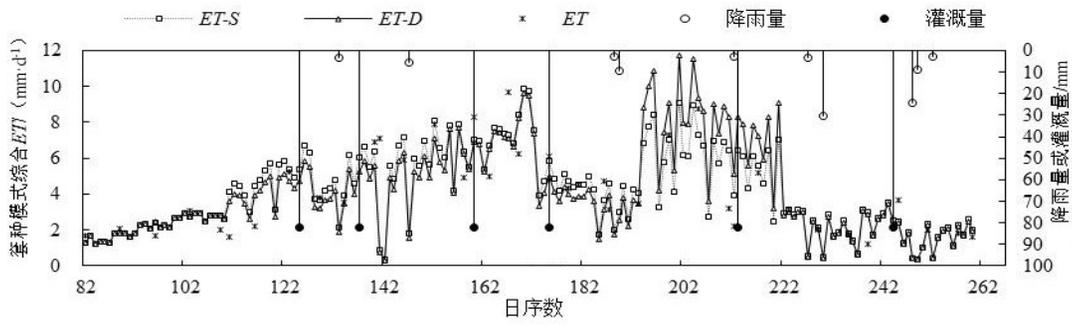


图3 小麦套种覆膜玉米模式下综合ET全生育期内变化曲线

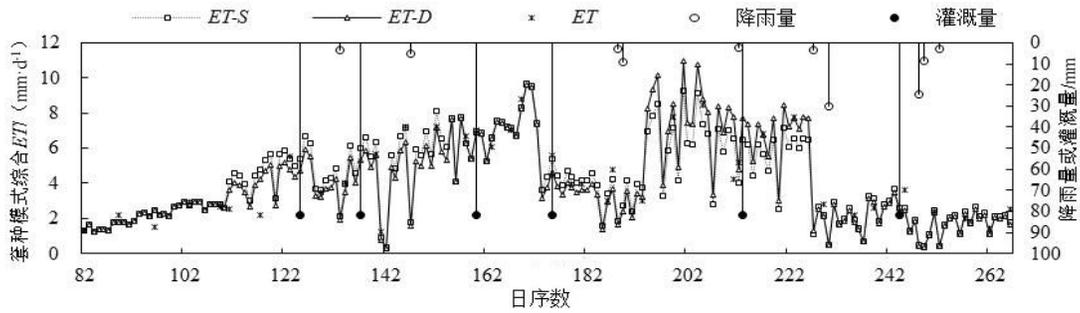


图4 小麦套种未覆膜玉米模式下综合ET全生育期内变化曲线

### 3.2.2 小麦套种油料向日葵

如图5所示,小麦套种油料向日葵的种植模式,单双值作物系数计算的2次综合需水高峰,即阶段3和阶段6:分别为小麦稳定油料向日葵初期(日序数第170天附近:小麦灌浆—油料向日葵苗期阶段,田间综合ET分别为9.80 mm/d与11.23 mm/d)和油料向日葵独立生长稳定期(日序数第222天前后,即油料向日葵开花阶段,田间综合ET分别为5.17 mm/d与6.45 mm/d)。

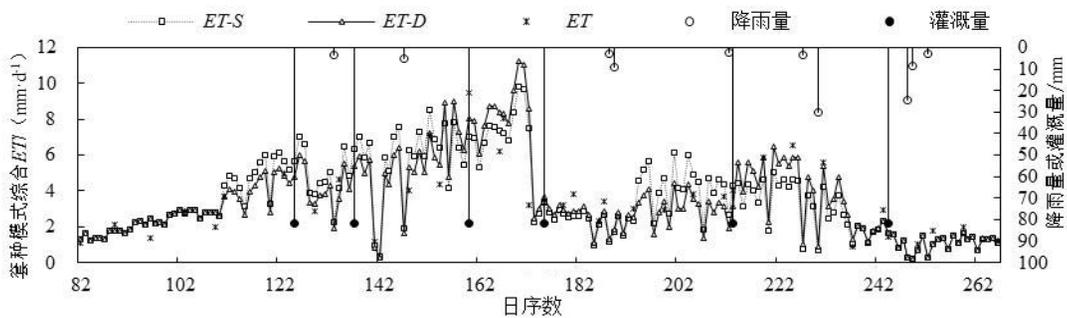


图5 小麦套种油料向日葵模式下综合ET全生育期内变化曲线

## 4 结论与讨论

1)FAO56作物需水量指南推荐的玉米、小麦、油料向日葵不同生育阶段的典型作物系数只有前期、中期、末期3个阶段,将3种作物在套种模式下的生育阶段划分的更加详细并分别命名,小麦套种玉米分为6个,分别为:小麦独立生长初期、小麦快速玉米初期、小麦稳定玉米快速期、小麦末玉米快速期、玉米独立生长稳定期、玉米独立生长末期;小麦套种油料向日葵分为7个,分别为:小麦独立生长初期、小麦独立快速生长期、小麦稳定油料向日葵初期、小麦末油料向日葵初期、油料向日葵独立快速生长期、油料向日葵独立生长稳定期、油料向日葵独立生长末期。将套种模式的2种作物作为一个整体,典型代表阶段的划分有利于研究套种模式的综合腾发,为指导套种模式的精准灌溉提供依据。

2)作物系数方面,2、3、4、6共生期阶段,单值方法高于双值方法的计算结果;阶段1、阶段5,单一作物独立生长阶段,双值方法高于单值方法的计算结果。原因是单值作物系数来自土壤蒸发的平均影响,与双值

作物系数中的基本作物系数的最大差值出现在初始生长期,此时蒸腾还很小,蒸发占绝对优势,生长中期由于作物冠层接近或达到完全覆盖地表的程度,冠层下面的蒸发对作物的腾发影响较小,其差值取决于地面的覆盖程度。后期由于雨水相对较多,同时根据作物的灌溉频率,土壤表面受降雨和灌溉湿润而暂时增加腾发量时增加了蒸发量,此时受双值作物系数中的土壤水蒸发系数影响较大。

3)研究表明,套种模式下的综合 $ET$ 有2个峰值。小麦套玉米模式为阶段3和阶段5,分别为小麦稳定玉米快速期和玉米独立稳定期。且双值作物系数计算的第2个需水高峰期的 $ET$ 显著高于单值作物系数的计算结果。小麦套油料向日葵模式为阶段3和阶段6,分别为小麦稳定油料向日葵初期和油料向日葵独立生长稳定期。原因是3种套种模式中,后播种的作物玉米与油葵需水量相对小麦较大,特别玉米与油葵的快速生育阶段与稳定生长阶段;小麦套油料向日葵模式的阶段3中,小麦处在抽穗—灌浆稳定期,而油葵刚刚播种,油葵裸露的地表依然是土面蒸发为主;实测 $ET$ 表现为降雨或灌水前较低,降雨与灌水后较高,阶段1较低。主要原因是取土时间受天气突变的影响,如降雨前小雨淅沥,取土工作未覆盖所有处理时已是大雨滂沱,因此灌水前后的实测值可控,而降雨前后的实测值不可控。

4)套种作物田间综合 $ET$ ,无论实测值、单值作物系数法、双值作物系数法,当单一作物处于独立生长期时差别不明显,而2种作物共同生育阶段的差别较大。主要原因是试验的三种模式同为套种小麦,小麦首先播种,单一作物独立生长期的土面蒸发、植株蒸腾与株间蒸发等相当于单作条件,而共生期时2种作物互相影响,争光争水争肥,植株高的作物对植株低的作物的腾发带来一定程度的影响;其中一种作物处在旺盛生长期时,根系需水也会对另一种作物带来影响。

5)小麦套种未覆膜玉米中后期的田间综合作物需水量均明显高于小麦套覆膜玉米的田间综合作物需水量,原因是此时春小麦已经收割,裸露地表部分相同,玉米的地膜覆盖不仅有减少土面蒸发的作用,而且保温增产、并缩短作物生育期时间,此时覆膜玉米早熟于未覆膜玉米,尽管作物腾发量降低的趋势强于未覆膜玉米,但由于覆膜的作用总土面蒸发低于套未覆膜玉米的总土面蒸发,因此后者占主导作用。

致谢:特别对研究中做出贡献的尊敬的史海滨教授以及所有合作单位、合作同仁表示深深感谢!

#### 参考文献:

- [1] 刘巽浩,高旺盛. 集约持续农业工程技术[M]. 郑州:河南科学技术出版社,2000:1-45.
- [2] 余云州. 一号文件持续聚焦“三农”新的发展理念引领推进农业现代化[J]. 市场经济与价格,2016(3):4-5.
- [3] 和立宣,宗兴梅,赵丽雪,等. 林果间套种小杂粮(豆)主要模式及种植技术[J]. 云南农业,2016(6):22-23.
- [4] 王仰仁,李明思,康绍忠. 立体种植条件下作物需水规律研究[J]. 水利学报,2003(7):90-95.
- [5] 王仰仁,王丽霞. 作物组合种植的需水量研究[J]. 灌溉排水学报,2000,19(4):64-67.
- [6] 刘朝巍,王琦,刘青林,等. 留茬方式对小麦间作玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(2):438-444.
- [7] 柴强,杨彩红,陈桂平. 灌溉方式对绿洲灌区小麦间作玉米耗水特性的影响[J]. 干旱区研究,2014,31(1):105-110.
- [8] 戴佳信,史海滨,田德龙,等. 内蒙古河套灌区主要粮油作物系数的确定[J]. 灌溉排水学报,2011,30(3):52-57.
- [9] 戴佳信,史海滨,田德龙,等. 河套灌区套种粮油作物耗水规律的试验研究[J]. 灌溉排水学报,2011,30(1):49-53.
- [10] 樊引琴,蔡焕杰. 单作物系数法和双作物系数法计算作物需水量的比较研究[J]. 水利学报,2002(3):50-54.
- [11] 刘钰, PEREIRA L S. 对FAO推荐的作物系数计算方法的验证[J]. 农业工程学报,2000,16(5):26-30.
- [12] 刘钰, PEREIRA L S, TEIXEIRA J L. 参照腾发量的新定义及计算方法对比[J]. 水利学报,1997(6):27-33.
- [13] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements FAO Irrigation and Drainage Paper 56[M]. Rome: FAO, 1998.
- [14] MIAO Qingfeng, RICARDO D R, SHI Haibin, et al. Modeling water use, transpiration and soil evaporation of spring wheat-maize and spring wheat-sunflower relay intercropping using the dual crop coefficient approach[J]. Agricultural Water Management, 2015, 165 :211-229.
- [15] 戴佳信. 内蒙古河套灌区间作作物需水量与生理生态效应研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.

# Integrated Crop Coefficients Approach of Interplanting Mode in Hetao Irrigation Area

DAI Jiaxin<sup>1</sup>, LI Jiu hao<sup>1</sup>, SHI Haibin<sup>2</sup>, ZHU Li<sup>3</sup>, TIAN Delong<sup>4</sup>, YAN Jianwen<sup>2</sup>, XIA Yuhong<sup>5</sup>

(1.College of Water Conservancy and Civil Engineering, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China;

2.College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agriculture University, Huhhot 010018, China;

3.Yijinhuoluo, Ordos City, Inner Mongolia Water Resources Team, Ordos 017200, China;

4.Institute of Water Resources for Pastoral Area of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Huhhot 010020, China; 5.Water Conservancy Science Institute of Bayannur In Inner Mongolia, Bayannur 015000, China)

**Abstract:** Based on the method which was recommended by FAO, the single and dual crop coefficients for three interplanting modes (wheat interplanting maize with plastic film mulching, wheat interplanting maize without film mulching and wheat interplanting oil sunflower) were calculated respectively. The experimental station was located in Deng Kou, Hetao irrigation district in Inner Mongolia. The results showed that the three interplanting modes had two peaks of water requirement during the whole growth stage. Crop coefficient in coexistence stage showed that the single value calculation results were higher than the dual values approach, while it was contrary in a single crop growth stage. There was significant difference in the coexistence stage and little difference in the independent phase for a single crop whether single or dual crop coefficient approach to calculate the integrated *ET* for interplanting crops. The article provided more detailed birth stages division and named separately for the crops of interplanting mode, expecting to provide more accurate foundations of calculation for crop evapotranspiration of interplanting mode.

**Key words:** interplanting mode; integrated crop coefficient approach; integrated *ET*; wheat; maize; oil sunflower

责任编辑:陆红飞