

不同土壤水分条件下夏玉米蒸发蒸腾特征研究

林同保, 孟战赢, 曲奕威

(河南农业大学农学院/河南省作物生长发育调控重点实验室, 河南 郑州 450002)

摘 要:以郑单958为材料,在防雨测坑模拟试验条件下,研究了不同土壤水分条件下夏玉米蒸发蒸腾特性。试验结果表明:夏玉米在不同土壤水分条件下,土壤蒸发与土壤水分含量有关,干旱条件下土壤蒸发日变化低于适宜土壤水分条件,充足水分条件下土壤蒸发量高于适宜水分处理。蒸腾速率日变化则是适宜水分75%最高,单叶瞬时蒸腾速率比干旱处理和充足水分处理分别高11.8%、4.3%。茎流量日变化峰值随水分含量的增高而增高,其峰值比蒸腾峰值要延迟约2 h。

关键词:夏玉米;土壤水分;土壤蒸发;叶面蒸腾;茎流

中图分类号:S513 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7601(2008)05-0022-05

土壤水分状况是农田蒸发蒸腾大小及变化的一个限制因素^[1]。前人在蒸发蒸腾计算方法^[2,3]和土壤水分对植物蒸发蒸腾影响^[4~6]方面均有研究。夏玉米的蒸发蒸腾研究^[7~10]表明:土壤水分通过影响植株生长而影响棵间蒸发,棵间土壤相对蒸发强度与作物叶面积指数之间呈现良好的指数函数关系,通过影响气孔导度影响植株蒸腾速率,通过影响土壤水分运移而影响茎流。但对全生育期不同土壤水分条件下蒸发蒸腾的特性还不很清楚。作物蒸腾是农田生态系统中土壤-植被-大气循环(SPAC)连续体水热传输过程中一个极为重要的环节^[11],如何精确测定作物的蒸腾耗水,成为SPAC系统研究的难点和重点,国内外学者用茎流计在树木和蔬菜中进行了大量研究^[12~18]。但在作物特别是夏玉米茎流特征的研究方面,成果还比较少。以热平衡为原理的包裹式茎流计能连续精确测定整株作物的茎流量,进而分析夏玉米茎流日变化特征,为作物蒸腾耗水的研究提供了有效的方法。本试验通过小型棵间蒸发器测定土壤蒸发,通过光合仪测定植株蒸腾,通过ICT茎流计测定玉米茎流日变化。以此来探讨夏玉米在全生育期不同土壤水分条件下的蒸发蒸腾特征,以期为黄淮海地区夏玉米节水研究提供依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验地概况

试验在河南农业大学科教园区农业部玉米区域创新中心全自动防雨旱作棚下进行。测坑上口面积6.7 m²,用13.5 cm厚的砖墙隔离以防止侧渗。坑

深2 m,表层是0.5 m厚混匀的回填土。测坑上有活动遮雨棚,以隔绝降雨。土壤基本理化性质为:土壤容重1.38 g/cm³,田间持水量为23.1%,土质沙壤,土壤pH值为7.33,土壤有机质含量0.76%,土壤全氮6.51×10² mg/kg,碱解氮32.7 mg/kg,速效磷47.5 mg/kg。供试夏玉米品种为郑单958,6月16日播种,密度为7.2万株/hm²。宽窄行种植,灌水量用水表控制,每坑播前灌水0.3 m³以保出全苗。底肥一次施足,每公顷施腐熟有机肥15 000 kg,尿素480 kg,过磷酸钙695 kg,氯化钾47 kg。9月22日收获测产。

1.2 试验设计

进行全生育期土壤水分灌溉控水,设3个水分处理。分别为:充分灌水处理(上限为占田持的95%,下限为占田持的90%,代号:95%);适宜水分处理(上限为占田持的75%,下限为占田持的70%,代号:75%);干旱胁迫处理(上限为占田持的50%,下限为占田持的45%,代号:50%)。水分控制容许误差为5%,3次重复,完全随机区组排列。

1.3 调查项目及方法

1.3.1 土壤水分 用土钻法分层测定,层距20 cm,每10天测定一次。用烘干法测出土壤重量含水量。同时TDR(时域反射仪)法配合土钻法测定。TRIME-FM型时域反射仪分层测定1.8 m深土壤体积含水量,层距为20 cm。上午9时左右测定,每5天测定一次,根据测定结果用水表对测坑进行严格控水。每次灌水量按以下公式计算:

$$W = CHA(W_{\text{上}} - W_0)$$

式中,C为容重,H为土层深度,按1 m计算,A为池

收稿日期:2008-05-05

基金项目:国家“粮食丰产科技工程”资助项目(2006BAD02A07-2)

作者简介:林同保,男,河南武陟人,教授,主要从事作物高效用水和生态安全技术研究。E-mail:Linlab@163.com。

区面积, $W_{\text{上}}$ 为设计土壤含水量, W_0 为灌前实测含水量。

1.3.2 棵间蒸发 棵间蒸发用 Micro-Lysimeter (MLS) 直接测定。选用 PVC 作为 MLS 的材料, 管壁厚 4 mm, 高 15 cm, 内径 10 cm。MLS 内的土壤 2~3 天更换一次, 以塑料袋封底, 每个处理设置 3 个重复, 每天早晨 8 点钟称重, 电子天平感量 0.1 g。灌溉后间隔一天换土。用时段内重量变化除以体积算得土壤棵间蒸发。日变化测定从早上 8:00 至晚上 18:00, 每间隔 2 个小时测一次。

1.3.3 蒸腾速率 采用 LI-COR 6400 光合作用系统(用闭路系统)测定, 日变化测定时间为早上 8:00 至晚上 18:00, 间隔 2 个小时测一次。测定时选取穗位的叶片中上部, 并且避开中脉。

1.3.4 茎流 采用澳大利亚 ICT 公司生产的 ICT 包裹式茎流计, 在测坑中选取适合于探头直径范围的玉米茎秆, 在第三节间用美国 Dynamax 公司生产

的包裹式茎流探头测定, 数据采集频率为 1 小时采集一次。

2 结果与分析

2.1 不同处理的土壤水分动态变化

从图 1 可以看出, 不同水分处理条件下 0~20 cm 土层土壤含水量的变化趋势基本一致, 土壤含水量值相差较明显, 特别是后期 50% 处理与 75% 和 95% 相差明显。这与土壤表层蒸发有关。20~40 cm、40~60 cm, 以及随着土层增厚, 处理之间的变化差异趋缓。到了后期, 土壤深层水分有较大变异, 在 60~80 cm 和 80~100 cm, 75% 处理水分含量还有高于 95% 处理的情况出现, 这可能是由于受深层水分动态变化的因素影响的的结果。100~120 cm 土层 50% 干旱处理和 75%、95% 处理的土壤含水量变化差异不大, 说明了控水处理主要影响 1 m 以内的土壤。而对于 1 m 以下水分影响变小。

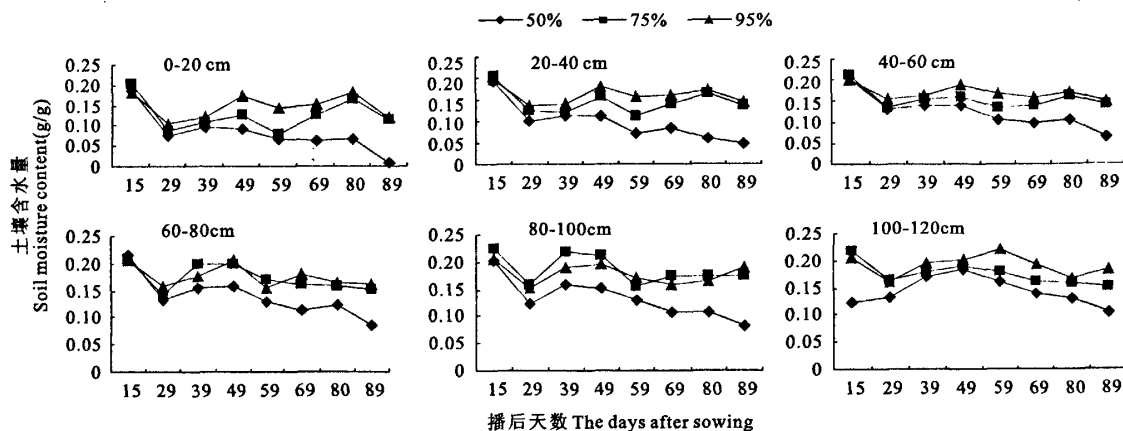


图 1 不同水分处理下夏玉米生育期内土壤含水量变化

Fig. 1 Change of soil water content in whole growth period under different soil moisture patterns

2.2 不同水分处理夏玉米生育后期土壤蒸发动态变化

玉米在抽雄吐丝(播后约 50 天)后, 其生长状况对玉米籽粒产量和品质的影响最大, 因此研究夏玉米生育后期的蒸发蒸腾对生产上有更大的意义。不同水分条件下夏玉米逐日土壤蒸发变化过程如图 2 所示。由图可知, 在灌水后两天也即播种后 64 天, 日蒸发量各处理均高, 同时干旱处理 50% 由于没有灌水, 基本没有变化, 而适宜水分处理和充足水分处理则在灌水后土壤蒸发急剧增大, 此后日蒸发速率逐渐减小, 日蒸发速率维持在较低的水平, 而在第二次灌水时由于各处理均灌水, 干旱处理灌水非常少。

因此各处理土壤蒸发均先升高后降低, 同时干旱处理 50% 和其他处理比较变化缓慢。适宜水分处理和充足水分处理相比, 95% 处理均高于 75% 处理, 说明了过量灌溉后造成了土壤蒸发量的增大, 对水分是一种浪费。

2.3 不同土壤水分条件下土壤蒸发日变化特征

不同土壤水分处理条件下夏玉米生育后期的土壤蒸发日变化如图 3 所示。不同水分处理条件下土壤蒸发日变化趋势相似, 即呈抛物线趋势。早上和傍晚时间段蒸发强度较少, 中午增加非常明显, 峰值出现在 14:00 左右。95% 处理峰值要比最低点高出 0.27 mm/d, 而 75% 处理峰值比最低点高出 0.18

mm/d, 50% 处理峰值比最低点高出 0.15 mm/d。这可能与中午气温高, 太阳辐射强, 造成土壤蒸发强度也随之增大有关, 同时不同处理在相同条件下变化量也有所不同。干旱的 50% 处理变化较为平缓, 最低值与峰值变化最小, 适宜水分含量 75% 处理与干旱处理差异较小, 仅 0.03 mm/d。充分灌水 95%

处理和适宜水分 75% 处理和干旱 50% 处理变化明显, 分别相差 0.09 mm/d 和 0.12 mm/d。说明了适当增加土壤水分含量, 既保证作物正常生长, 形成良好冠层结构同时又不至于因土壤蒸发而消耗过多水分。而若灌水量大, 达到充分灌水水平, 则加大了因土壤蒸发而产生的无效耗水。

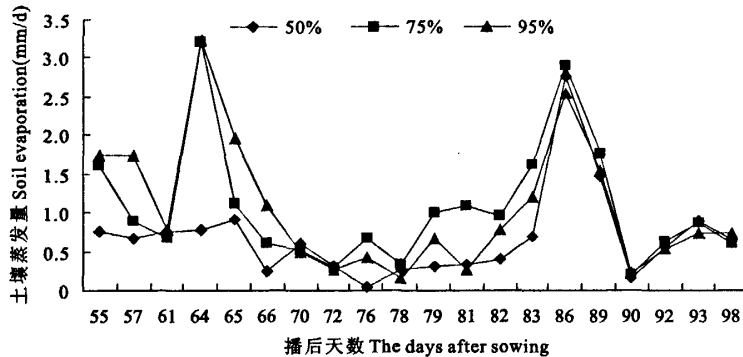


图 2 不同水分处理夏玉米生育后期逐日土壤蒸发量(2006 年 8~10 月)

Fig. 2 Change of soil evaporation in growing stages of summer corn under different soil moisture patterns

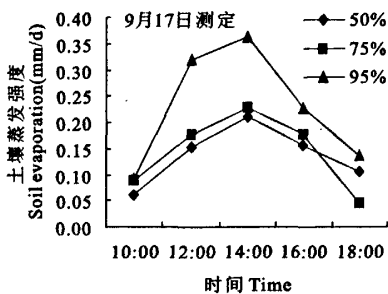


图 3 不同水分处理夏玉米生育期内土壤蒸发日变化

Fig. 3 Diurnal change of soil evaporation in growing stages of summer corn under different soil moisture patterns (2006.09.17 50% LAI=0.86; 75% LAI=1.69, 95% LAI=1.05)

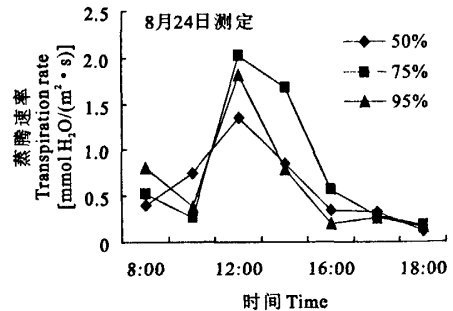


图 4 不同水分处理夏玉米叶片蒸腾速率的日变化

Fig. 4 Change of transpiration in growing stages of summer corn leaf under different soil moisture content (2006.08.24 50% LAI=2.82; 75% LAI=3.66, 95% LAI=2.85)

2.4 不同土壤水分条件下玉米蒸腾速率及光合特性差异变化

由图 4 可知, 从各处理蒸腾速率日变化趋势来看, 各处理均在 12:00 左右有一个峰值出现, 这可能是因为是在玉米抽穗后后期的七八月份, 在 12:00 左右中午太阳辐射强烈, 气温较高, 同时叶片气孔打开, 促进了植株蒸腾失水, 蒸腾速率达到一天中的最大值。从图 4 中还可以看出适宜水分 75% 处理蒸腾速率峰值最高, 在中午 12:00 左右的蒸腾速率要比 50% 和 95% 分别高出 0.66 和 0.2 mmol H₂O/(m²·s)。同时一天中其它时段(上午 8 点除外)也最高, 这是由于适宜水分 75% 处理植株生长适宜,

绿叶面积大, 作物生长良好。叶面积指数要比 50% 和 95% 处理高 0.84 和 0.81。蒸腾有利于植物产生的蒸腾拉力使作物吸收水分养分。不同土壤水分条件下夏玉米光合特性差异从表 1 可知, 适宜水分 75% 处理的光合各指标要比干旱、充分灌水处理高。光合速率 75% 处理分别比 50% 和 95% 处理的高 39.5%、20.5%, 50% 处理和 75% 处理差异明显。蒸腾速率分别高 11.8%、4.3%。这可能是由适宜水分 75% 处理的植株生长旺盛, 吸收水分和光照能力强的原因造成的。说明夏玉米在适宜条件下光合作用非常活跃, 生长比较旺盛。而充分灌水处理 95% 的光合速率和蒸腾速率要比干旱处理 50% 高

23.9%和 7.8%。说明夏玉米在充足水分条件下虽比适宜条件下光合作用有所减弱,但是,却比干旱条件下的光合作用要强。而气孔导度也有相同的趋势。

表 1 不同土壤水分处理对夏玉米光合特性的影响(8月13日测定)

Table 1 The effect of different soil moisture on summer corn photosynthesis characteristic

水分处理 Trement	光合速率 Pn [$\mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	蒸腾速率 Tr [$\text{mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	气孔导度 Gs [$\text{mol H}_2\text{O}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	单叶水分利用效率 LWUE (P_n/T_r) [$\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$]	叶面积指数 LAI
50%	15.9b	2.47b	0.103b	6.42b	2.72b
75%	26.3a	2.80a	0.218a	9.41a	4.05a
95%	20.9ab	2.68b	0.181a	7.81ab	3.22b

2.5 不同土壤水分条件下玉米茎流变化特征

从图 5 中可以看出,茎流日变化呈单峰曲线关系,峰值在 14:00 左右。茎流在早上 4:00 以前基本上为 0,8:00 以前茎流量很小,同时 20:00 以后茎流值一般较小,故茎流计有夜间(20:00~8:00)关闭加热器功能。随着土壤水分含量的提高,茎流峰值也有所提高。95%处理要高于 50%和 75%处理。其数值分别为:62.9 g/h、28.8 g/h、54.6 g/h。干旱处理 50%要比适宜水分处理 75%、充足水分处理 95%处理的峰值推迟一个小时。同时 75%适宜水分处理在早上 5:00 左右和 20:00 左右在干旱和充足水分茎流值很小的情况下仍有 10~20 g/h 的茎流量。说明了在适宜水分条件下作物能保持一定的茎流,以有利于作物对水分的吸收利用和作物蒸腾。

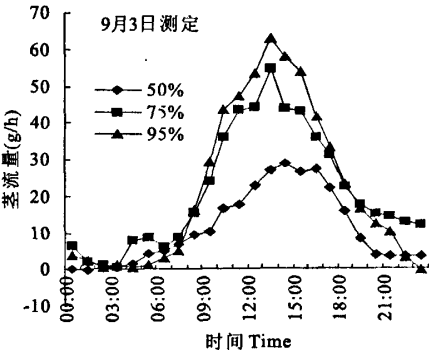


图 5 不同水分处理条件下茎流日变化

Fig.5 Diurnal change of sap flow under different soil water content

3 讨论

已有资料表明:作物耗水量的 99.8%用于作物蒸腾,而作物蒸腾与茎流之间存在着必然的联系,当作物蒸腾速率等于或小于茎液流速时,作物处于充分供水状态,当蒸腾速率大于茎液流速时,作物将产生不同程度的水分亏缺^[19~21]。本实验结果表明

50%、75%、95%土壤水分处理茎流相比较,95% > 75% > 50%,而蒸腾速率则因为测定叶片为穗位叶,同时适宜土壤水分 75%处理田间长势要比其他两个处理要好,叶面积指数高,所以蒸腾速率相比是 75% > 95% > 50%。

土壤蒸发是农田作物奢侈耗水的重要途径,可通过降低土壤水分蒸发途径来达到节水目的,一般通过调控地上植株生长状况,形成良好的地面覆盖以减少蒸发。适宜水分处理 75%是作物适宜的水分处理,可以形成良好的地上冠层。叶片蒸腾是通过叶片瞬时蒸腾速率测定来代表夏玉米光合蒸腾特性,在适宜土壤水分 75%条件下植株光合特性以及蒸腾数值均大,说明了作物在适宜水分处理下生长较旺盛。植株茎流反映了整个植株从根系吸收的水分向上传输的量,从整体上表现作物生长状况,茎流包括作物蒸腾向上吸收的水分,还包括作物光合作用等生理代谢所需的水分运输。从节水角度来讲,减少土壤蒸发,增加作物叶片蒸腾,同时减少茎流中叶片蒸腾失水的比例,有利于水分的利用,提高水分利用效率。本实验结果表明随土壤水分含量增加,土壤蒸发和茎流都随之增加。但是单叶蒸腾却因为作物生长状况而变化,在适宜水分条件下蒸腾速率最大,因此用单叶瞬时的蒸腾来表现作物水分状况,以此为依据进行水分调控的方法具有一定的局限性。

本实验结果表明:茎流量日变化峰值比蒸腾峰值要滞后。蒸腾峰值大约在 12:00 左右,而茎流峰值在 14:00 左右,而 50%处理的茎流值要更推迟。这是由于蒸腾速率反映的是由叶片生理机能的改变引发气孔开闭而产生的叶片散失水分的变化,受周围瞬时环境因子变化的影响显著;而利用茎流计测得的茎流速率,反映的是被测茎杆的液流特征,不考虑夏玉米自身代谢所消耗的水分,是冠层所有叶片蒸腾作用的结果。而且由于水分输导过程的滞后^[22,23],茎流峰值比蒸腾峰值要推迟约 2 小时。适

宜水分 75% 处理的蒸腾速率要比 50% 处理和 75% 处理的高,而茎流日变化 95% 处理要高于 75% 和 50% 处理,这可能是由于蒸腾速率测的是穗位叶,而茎流测的是植株全株的缘故。95% 处理由于植株生长在土壤水分含量高的环境中较易吸收水分而造成浪费,而表现对作物产量有更大贡献的植株穗位叶上,蒸腾速率则是以水分的 75% 处理最高,这正说明了适宜水分处理的水分利用效率较高。

通过蒸腾蒸发量规律的探讨,以达到减少植物蒸腾和农田蒸发,降低水分消耗目的。最终提高水分利用效率是节水农业研究的一个热点,今后会向更细更深方向发展,比如植株蒸腾规律的内在机理、土壤水分状况影响、土壤蒸发的原理和调控、以及如何减少蒸发蒸腾以达到节水目的的途径等。

参考文献:

- [1] 李新有,梁宗锁,康绍忠.节水灌溉对夏玉米蒸腾效率的影响[J].华北农学报,1995,10(4):14—19.
- [2] 谢森传.农田水分循环中的蒸发蒸腾计算[J].清华大学学报(自然科学版),1998,38(1):107—110.
- [3] 康燕霞,蔡焕杰,王健,等.夏玉米蒸发蒸腾量计算方法的试验研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):110—113.
- [4] 高照全,张显川,王小伟.桃树冠层蒸腾动态的数学模拟[J].生态学报,2006,26(2):489—495.
- [5] 王健,蔡焕杰,陈凤,等.夏玉米田蒸发蒸腾量与棵间蒸发的试验研究[J].水利学报,2004,11(11):108—113.
- [6] 康绍忠,蔡焕杰,梁银丽,等.大气 CO₂ 浓度增加对春小麦冠层温度、蒸发蒸腾与土壤剖面水分动态影响的试验研究[J].生态学报,1997,17(4):412—417.
- [7] 谢华,沈荣开.用茎流计研究冬小麦蒸腾规律[J].灌溉排水,2003,20(1):5—9.
- [8] 程维新.农田蒸发和作物蒸腾研究[M].郑州:气象出版社,2000.11—12.
- [9] 孙景生,陈玉民,康绍忠,等.夏玉米田作物蒸腾与棵间土壤蒸发模拟计算方法[J].玉米科学,1996,4(1):76—80.
- [10] 孙景生,康绍忠,王景雷,等.沟灌夏玉米棵间土壤蒸发规律的试验研究[J].农业工程学报,2005,11(21):20—24.
- [11] 张友豪,周泽福,党宏忠,等.利用 TDP 茎流计研究沙地樟子松的树干液流[J].水土保持研究,2006,13(4):78—80.
- [12] 龚道枝,王金平,康绍忠,等.不同水分状况下桃树根茎液流变化规律研究[J].农业工程学报,2001,17(4):34—38.
- [13] Granier A, Huc R, Barigah S T. Transpiration of natural rain forest and its dependence on climate factors[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1996,78:19—29.
- [14] 金红喜,刘左军,王继和,等.热平衡茎流计在荒漠灌木植物耗水研究中的应用[J].防护林科技,2004,6(63):9—13.
- [15] 刘奉觉,Edwards W R N,郑世楷.杨树树干液流时空动态研究[J].林业科学研究,1993,6(4):368—372.
- [16] 彭致功,杨培岭,段爱旺,等.日光温室条件下番茄植株蒸腾规律研究[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):62—65.
- [17] 孙鹏森,马履一,王小平,等.油松树干液流的时空变异性研究[J].北京林业大学学报,2000,22(5):1—6.
- [18] 岳广阳,张铜会,赵哈林,等.科尔沁沙地黄柳和小叶锦鸡儿茎流及蒸腾特征[J].生态学报,2006,26(10):3205—3213.
- [19] 庞鸿宾.节水农业工程技术[M].郑州:河南科学技术出版社,2000.67—69.
- [20] Allen S J, Grime V L. Measurements of transpiration from savannah shrubs using sap flow gauges[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1995,75:23—41.
- [21] Pamela L N, Edward P G, Thompson T L. Comparison of transpiration rates among saltcedar, cottonwood and willow trees by sap flow and canopy temperature methods[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2003,11(6):73—89.
- [22] 王华田,马履一.利用热扩散式边材液流探针(TDP)测定树木整株蒸腾耗水量的研究[J].植物生态学报,2002,26(6):661—667.
- [23] 马履一,王华田,林平.北京地区几个造林树种耗水特性比较研究[J].北京林业大学学报,2003,25(2):1—7.

Research on characteristic of summer corn evapotranspiration under different soil moisture condition

LIN Tong-bao, MENG Zhan-ying, QU Yi-wei

(Agronomy College of Henan Agricultural University/Key Laboratory for

Regulating Crop Growth and Development of Henan Province, Zhengzhou, He'nan 450002, China)

Abstract: Under the rainproof pit simulation measured test condition, Zheng-Dan 958 was taken as the material to study the evapotranspiration characteristic of summer corn under different soil moisture condition. The result indicated that, under different moisture content condition, there is relationship between soil evaporation and soil moisture, the diurnal change of soil drought treatment is lower than suitable treatment, enough moisture treatment is higher than suitable treatment. 75% treatment is the highest transpiration rate diurnal change, and 11.8%、4.3% higher than soil drought treatment and enough moisture treatment. Sap flow diurnal change with soil moisture contentment, its summit is delayed 2 hours to transpiration.

Keywords: summer corn; soil moisture; evapotranspiration; stem sap flow