

不同控光条件对春玉米耗水规律的影响

曹勇¹, 张建丰^{1,2*}, 李涛^{1,2}, 申亚宾¹

(1. 西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 西安 710048;

2. 陕西省水资源与环境重点实验室, 西安 710048)

摘要:【目的】探究不同光照强度对春玉米耗水的影响。【方法】以自然光的强度为对照(LCK),在遮光度分别为38%(L38)、55%(L55)、77%(L77)条件下进行了大田试验,测定了不同控光条件下春玉米全生育期土壤水分分布特征、棵间蒸发、叶面积指数与耗水量的变化规律。【结果】控光条件下春玉米0~40 cm土壤水分分布受影响较大,随着控光程度的增加,土壤水分增加,全生育期,L77、L55、L38处理0~40 cm土层土壤含水率较LCK分别提高7.93%、5.54%、4.95%;春玉米日棵间蒸发强度随生长历时呈变小的趋势,全生育期L38、L55、L77处理平均日棵间蒸发强度较LCK处理分别减小9.17%、19.62%、29.34%;全生育期,春玉米耗水量在345.1~386.7 mm之间,随着光照强度减小,春玉米耗水量减小,L38、L55、L77比LCK减少3.3%、9.3%、10.8%;不同生育阶段春玉米耗水量不同,拔节期与乳熟期为主要耗水阶段,共占总耗水量的59.8%以上。【结论】控光条件有效减少了土壤水分消耗,降低春玉米棵间蒸发量,从而减少春玉米耗水。

关键词:春玉米;控光;生育期;耗水;棵间蒸发

中图分类号:S513

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0569

曹勇,张建丰,李涛,等.不同控光条件对春玉米耗水规律的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(12):10-18.

0 引言

在作物生长的全生育期内,光照是影响其水量消耗的主要因素之一,光照时间越长,强度越大,作物的蒸腾量也越大,但是,过大的光照强度会抑制作物的光合作用,并且可能对作物叶片造成伤害^[1],适当适时减少光照强度能够提高作物的光合效率,消除作物奢侈蒸腾,减少作物耗水量^[2],节约灌溉水资源。因此,探索控光条件下作物的耗水规律及节水幅度,将为高效节水农业的发展提供新的思路。

近年来,国内外学者对玉米的耗水规律进行了大量的试验及理论研究。Liu等^[3]利用大型称重式蒸渗仪测定华北平原冬小麦和玉米每日的土壤棵间蒸发与水分总蒸散,得出冬小麦和玉米土壤蒸发占总蒸散的30.3%和29.7%,控制土壤蒸发对干旱地区节水有着重要作用。寇明蕾等^[4]研究不同水分亏缺下夏玉米耗水规律,得出轻度、中度、重度亏水处理夏玉米,全生育期耗水量分别比对照减少了11.9%、15.4%、24.4%;曹雪松等^[5]、刘玉洁等^[6]、路振广等^[7]分别在内蒙古、甘肃以及河南探究不同灌水量下玉米耗水强度,均得出随着灌水量的增加,玉米的耗水量增加。针对种植方式对玉米耗水的影响,李全起等^[8]在山东探究了不同种植方式下夏玉米的农田蒸散量,认为沟播处理和垄作处理均显著增加了土壤水分的消耗量,导致总蒸散量显著增加;张海林等^[9]以常规耕作为对照,对覆盖免耕夏玉米的耗水特性进行了研究,结果表明耕作并没有大幅度增加或者减少夏玉米的耗水量;吕佳雯^[10]、刘琦等^[11]探究覆膜种植对玉米耗水的影响,均得出覆膜技术可以显著降低玉米耗水量;Li等^[12]在陕西省研究覆盖小麦秸秆与覆盖塑料地膜下玉米地水分消耗情况,结果表明,覆盖塑料地膜较小麦秸秆有更好的保水作用,减少了玉米地土壤蒸发散失的水分;李栋浩等^[13]探究不同种植密度对玉米耗水的影响,得出随着种植密度的增加,制种玉米耗水量增加的结论。

收稿日期:2017-09-18

基金项目:中国科学院“西部之光”西部青年学者人才培养计划项目(XAB2016AW06);陕西省教育厅科研计划项目资助(16JS084)

作者简介:曹勇(1992-),男,陕西延安人。硕士研究生,主要从事作物节水理论与技术研究。E-mail:cy200516@126.com

通信作者:张建丰(1961-),男,陕西西安人。教授,博士,主要从事节水、水信息检测与灌区自动化等研究。E-mail:jfzhang@mail.xaut.edu.cn

这些研究多是探究不同灌溉条件与种植方式下玉米的耗水规律,针对光照对作物耗水影响的研究鲜见报道。而光照是植物蒸腾作用与光合作用的能量来源,不同光照强度对玉米的生长发育与耗水至关重要。鉴于此,在已有的作物耗水规律研究的基础上,探究一定控光条件下玉米的耗水规律,以期作为作物节水理论拓展提供一定依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

田间试验在西安市未央区试验站进行。试验站地理坐标为34°12'N,108°31'E,海拔为500 m,属暖温带半湿润大陆性季风气候。其中,年最高气温40℃左右,年最低气温-8℃左右,无霜期多年平均为219~233 d,多年平均气温13.3℃,多年平均降雨量550.36 mm,其中,7月、9月为降水高峰月。

1.2 试验设计

选择春玉米(郑单958)为研究对象,采用大田直播方式,于2016年4月3日覆膜种植,4月15日开始陆续出苗,出苗后撤掉地膜,8月15日开始收获测产。本试验以自然光为对照,通过搭建薄、厚和层数不同的遮阳网实现控光。根据现有遮阳网型号选用针数为2、3、6的遮阳网,经测定,其遮光度分别为38%、55%、77%,故控光处理为自然光照强度的38%(L38)、55%(L55)和77%(L77),不遮荫处理为对照(LCK),每个处理3次重复,共12个试验小区,小区面积为3 m×2.4 m,各处理小区随机布置。沿东西方向种植,行距0.6 m,株距0.35 m布置,小区之间田埂宽度为0.8 m。基肥施用尿素150 kg/hm²(氮18%磷22%硫8%有机质8%氨基酸8%),磷酸二铵75 kg/hm²(总氮46.4%)。不同处理春玉米生育期划分见表1。

表1 春玉米各生育期起止时间

处理	生育期				
	苗期	拔节期	开花吐丝期	乳熟期	完熟期
LCK	0403—0511	0512—0619	0620—0702	0703—0728	0729—0815
L38	0403—0511	0512—0619	0620—0703	0704—0730	0731—0817
L55	0403—0511	0512—0619	0620—0705	0706—0801	0802—0818
L77	0403—0512	0513—0620	0621—0706	0707—0803	0803—0820

利用畦灌方式灌水,灌水控制下限为田间持水率的60%。当各处理达到灌水控制下限时进行灌水,灌水上限为土壤田间持水率,全生育期共计2次灌水,LCK、L38处理、L55处理和L77处理第一次(5月3日)灌水量分别为50、53、47、50 mm;第二次(6月22日)灌水量分别为68、57、38、31 mm。

1.3 测定项目

1.3.1 气象资料

通过自动气象站观测试验田整体气候情况,主要项目为降雨量、风速、风向、日照、气温、相对湿度、气压等。玉米群体小气候包括玉米冠层温度、湿度、冠层太阳净辐射。其中玉米冠层温度、湿度利用毛发温湿度表测定,冠层太阳辐射利用手持式净辐射仪测定,所有指标从春玉米苗期开始测定,每个生育期测定2次,每次测定从08:00—20:00,每隔2 h测定1次。

1.3.2 土壤含水率与灌水量的测定

采用TDR土壤水分测定仪测定土壤水分。从开始播种至收获结束每7 d左右测1次,降雨或灌水前后加测。测定深度为0~100 cm,0~40 cm每隔10 cm测定1次,40~100 cm每隔20 cm测定1次;灌水量利用水表计量。

1.3.3 棵间蒸发量

用自制的小型蒸渗仪(高20 cm,直径11 cm)置于春玉米行间土壤,测定棵间蒸发量^[14]。每日08:00用感量为0.5 g的电子天平称量,经面积换算再加上灌溉或降水量得到每天的蒸发量^[15]。每隔7~10 d换1次土,灌水后增加1次换土。

1.3.4 土壤指标

利用环刀在试验区取0~100 cm原状土对田间持水率和质地进行测定,得出试验区0~100 cm土层为壤土,各土层的体积质量与田间持水率见表2。

表2 土壤田间持水率与平均体积质量

土层深度/cm	田间持水率/(g·g ⁻¹)	平均体积质量/(g·cm ⁻³)
0~10	0.22	1.408
10~20	0.22	1.408
20~30	0.20	1.588
30~40	0.19	1.601
40~60	0.18	1.614
60~80	0.18	1.640
80~100	0.20	1.622

1.4 数据计算与处理

1) 采用水量平衡法^[16]计算玉米生育期耗水量, 水量平衡方程可表示为:

$$ET = P_e + I + \Delta W - R - F, \quad (1)$$

式中: ET 为时段内的耗水量(mm); ΔW 为相应时段内的土壤贮水变化量(mm); P_e 为相应时段内的有效降雨量(mm); I 为相应时段内的灌水量(mm); R 为地表径流量(mm), 本试验小区间布设有垄和保护行, 地表径流忽略不计, 取 $R=0$; F 为深层土壤水分渗漏量(mm), 试验土层监测到 120 cm 深度, 试验过程中此深度土壤含水率变化不大, 100 cm 处未超田间持水率, 取 $F=0$ 。

2) 耗水模系数计算式为:

$$R_{wi} = W_{Ti} / W_T, \quad (2)$$

式中: R_{wi} 为耗水模系数(%); W_{Ti} 为作物阶段耗水量(mm); W_T 为作物生育期耗水量(mm)。

采用 Excel 2013、origin 9.0、SPSS 2.2 版软件进行数据统计分析与绘图。

2 结果与分析

2.1 气象因素

图1为2016年春玉米试验田全生育期内太阳辐射、气温、相对湿度、降雨量的逐日动态变化图。由图1可知, 2016年春玉米试验田全生育期内降雨总量为200.4 mm, 共计降雨次数35次, 有效降雨次数是15次, 有效降雨量191 mm。降雨主要集中在5—7月, 占降雨总量的88%。全生育期平均气温为24.8 °C, 平均相对湿度为54.7%, 平均太阳辐射为303.9 W/m²。太阳辐射与日平均气温呈正相关关系, 与日平均相对湿度呈负相关关系, 太阳辐射降低, 日平均气温降低, 日平均相对湿度增大。

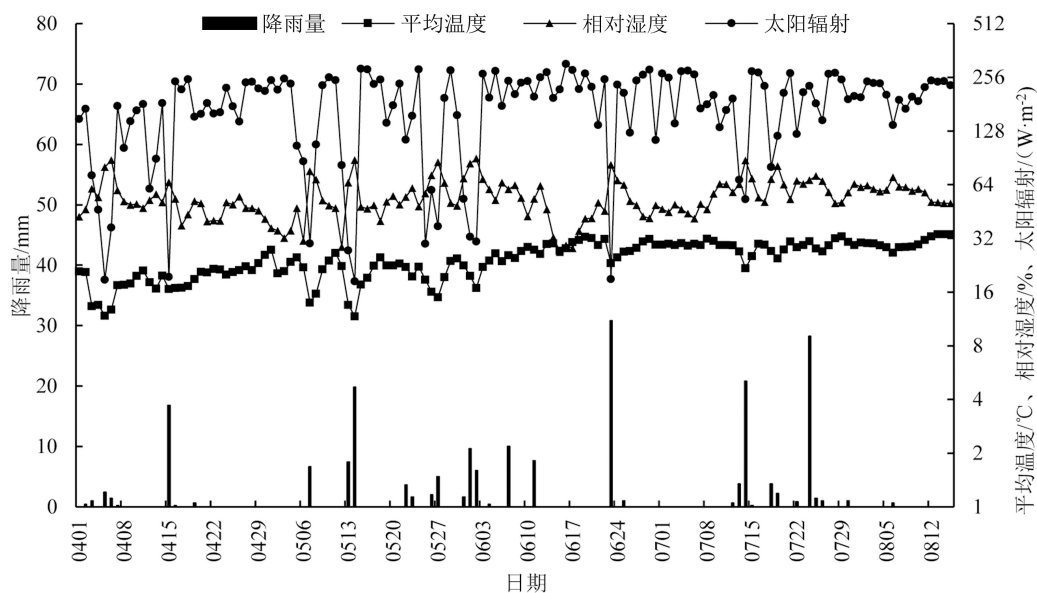


图1 2016年春玉米试验田全生育期内太阳辐射、气温、相对湿度、降雨量的逐日动态变化

控光后, 玉米冠层处太阳辐射、空气温湿度等都会产生差异。图2和图3分别为春玉米冠层温度与冠层相对湿度日变化情况。由图2可知, 拔节期与乳熟期春玉米不同处理冠层温度在1 d内均呈单峰曲线变化, 峰值均出现在14:00; LCK处理冠层温度明显高于控光处理的, 5月21日白天L38、L55、L77处理平均冠层温

度为22.5、22.2、22.0℃,较LCK处理降低2.0%、3.1%、4.3%。7月24日白天L38、L55、L77处理平均冠层温度为32.4、31.8、31.5℃,较LCK处理降低1.0%、2.9%、3.6%;由图3可知,拔节期与乳熟期春玉米不同处理冠层相对湿度均呈先减小后增大的趋势,从08:00—14:00,4个处理相对湿度均下降,14:00降至最低湿度,从14:00—20:00,湿度快速上升。不同处理表现为LCK处理<L38处理<L55处理<L77处理,拔节期与乳熟期同一时刻不同处理冠层湿度的差值在1.4%~5.5%与4%~14.2%之间。由此看出,控光处理不同生育期均能够降低春玉米白天冠层温度,增加冠层湿度,随着控光程度增加,影响程度增加。

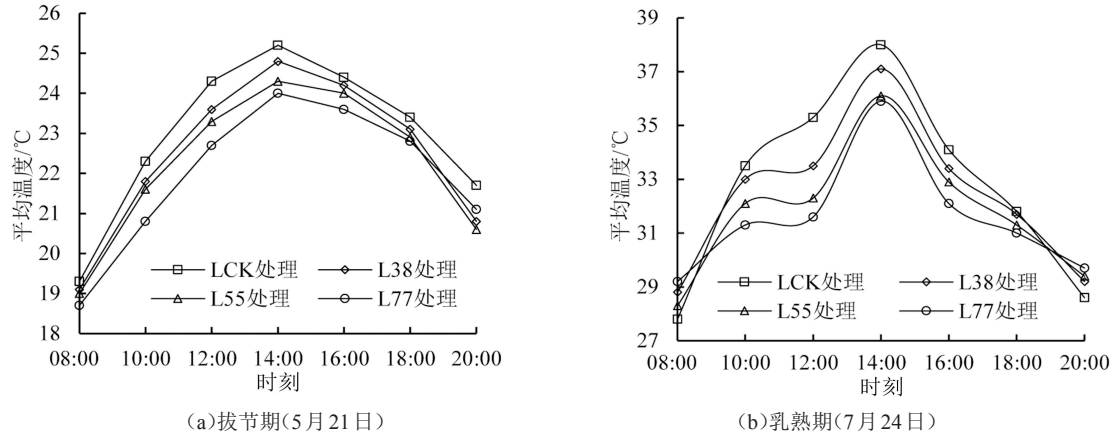


图2 春玉米冠层温度的日变化

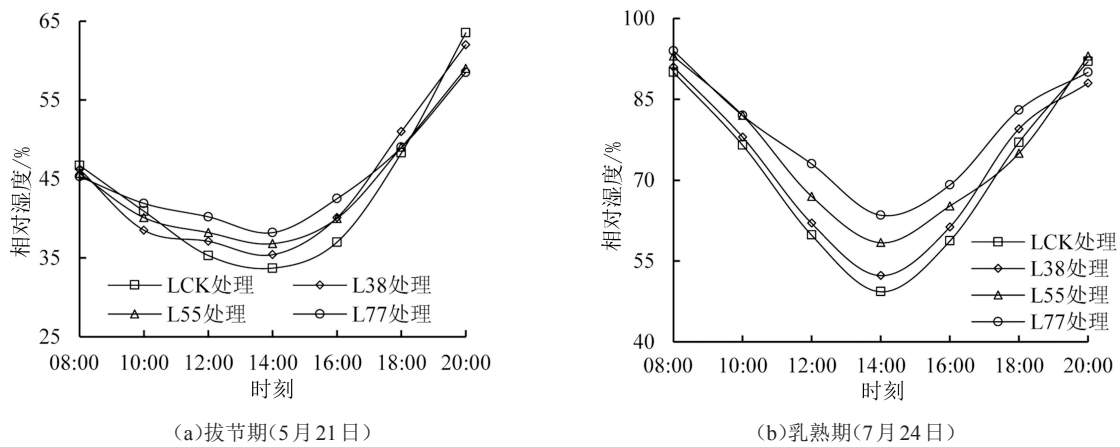


图3 春玉米冠层相对湿度的日变化

2.2 不同处理下土壤水分变化情况

农田土壤水分分布受灌溉、降雨、土壤类型及大气条件等多种因素的影响,土壤水分运动复杂多变。春玉米各生育期不同处理土壤含水率均随土层深度增加呈先增加后减小的趋势(图4),0~10 cm土层处含水率均最低,30~40 cm土层处含水率最高。从不同生育期来看,苗期各处理土壤含水率变化情况基本一致,L77、L55、L38处理0~40 cm土层土壤含水率较LCK提高5.43%、5.31%、2.48%,40~100 cm土层土壤含水率较LCK提高0.05%、0.49%、1.98%,变化并不明显,原因为春玉米3叶期之后才开始控光,控光前各处理间无差异;拔节期玉米受控光影响,长势不同,对水分的消耗不同,各处理土壤含水率差异最为明显,L77、L55、L38处理0~40 cm土层土壤含水率较LCK处理提高28.48%、22.60%、16.97%,40~100 cm土层土壤含水率较LCK提高9.92%、3.55%、4.41%,;开花吐丝期各处理差异不明显,L77、L55、L38处理0~40 cm土层土壤含水率较LCK提高6.06%、4.50%、1.91%,40~100 cm土层土壤含水率较LCK提高1.66%、0.33%、0.94%;乳熟期玉米对水分需求大,各处理土壤含水率差异明显,L77、L55、L38处理0~40 cm土层土壤含水率较LCK提高20.36%、10.70%、7.81%,40~100 cm土层土壤含水率较LCK提高7.23%、3.76%、3.82%;完熟期各处理差异不明显,L77、L55、L38处理0~40 cm土层土壤含水率较LCK提高5.85%、6.64%、3.35%,40~100 cm土层土壤含水率较LCK提高1.85%、1.30%、3.35%,可以看出,控光主要影响玉米0~40 cm土层土壤含水率,影响程度在各个生育期存在差异;随着控光程度增加,土壤0~100 cm土层土壤含水率均有不同程度的增加,表明控光措施会减小土壤水分的消耗,增大土壤含水率,具有一定的保墒作用。

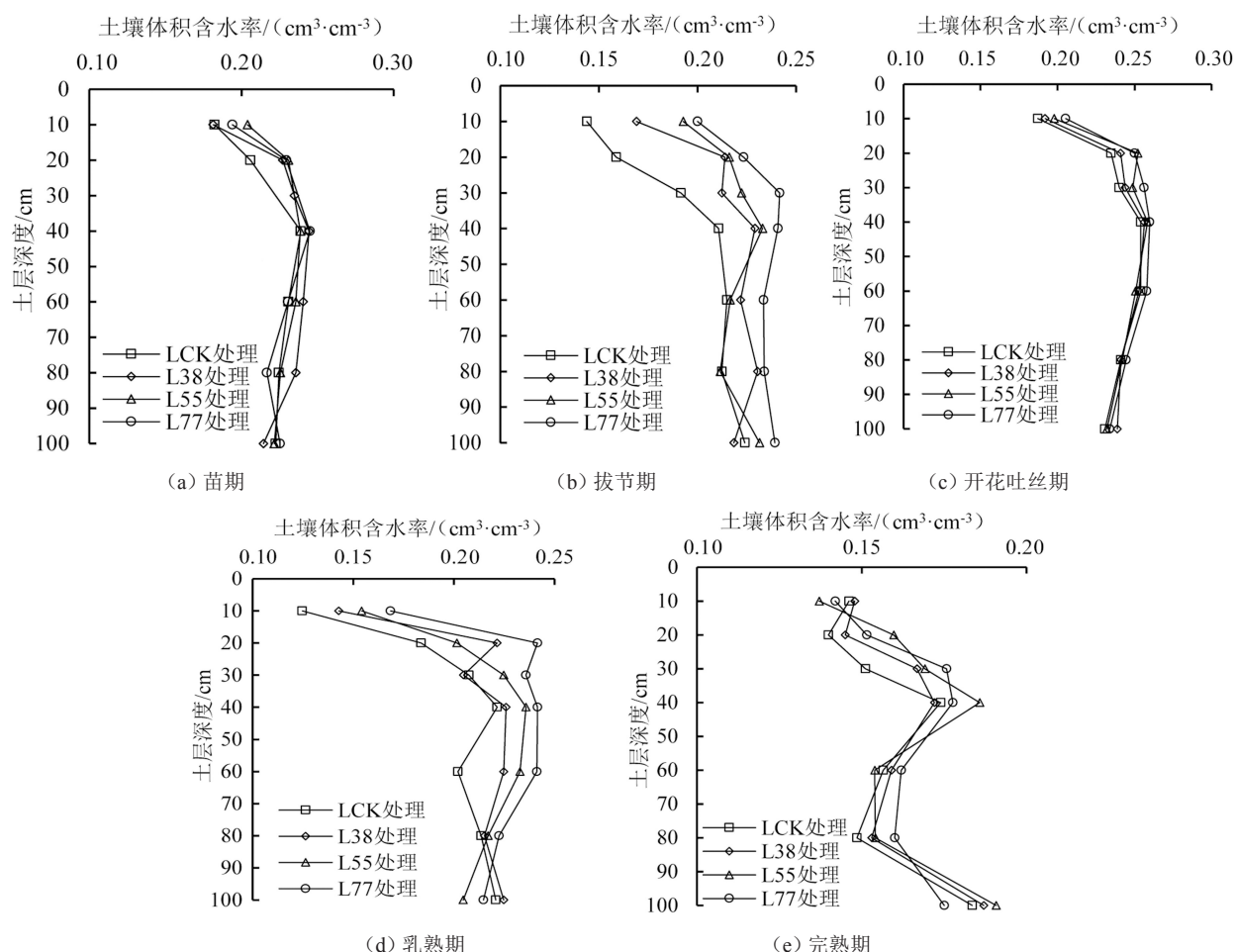


图4 不同控光处理下春玉米不同生育期内土壤水分变化

2.3 不同控光条件对春玉米叶面积指数的影响

2.3.1 控光对春玉米叶面积指数的影响

由图5可知,全生育期,春玉米群体叶面积指数变化情况一致,随着玉米生长发育均呈单峰曲线变化,即LAI随生育期进程先增大,在开花吐丝期达最大值之后缓慢下降。拔节期以前,单株叶面积指数增长速度缓慢,不同控光处理之间差异不明显;拔节到吐丝增长速度最快,各处理叶面积指数出现差异,开花吐丝期达到最大值,其中LCK处理叶面积指数最大,为3.27,L38、L55处理分别为3.03、2.63,L77处理叶面积指数最低,为1.99。不同处理下,LCK处理有利于叶片的生长,玉米均具有较大的叶面积指数,特别是在春玉米拔节期后这种差别较为明显;L38处理下对春玉米叶面积指数影响不大,较LCK处理叶面积指数下降5.8%;L55处理严重影响玉米的叶面积指数,群体叶面积指数较LCK下降17.9%;L77处理下春玉米叶面积指数降至最低,较LCK处理叶面积指数下降39.5%,表明控光处理影响春玉米叶面积指数,随着控光程度的增加,春玉米叶面积指数降低,分析原因可能为控光处理下玉米叶片接收到的太阳辐射减小,一定程度上阻碍了光合作用,有机物积累不足,造成玉米叶面积指数的下降。

2.3.2 春玉米叶面积指数动态变化模拟

由图5可知,春玉米群体叶面积指数随着玉米生长发育均呈单峰曲线变化,采用公式^[17]模拟春玉米叶面积指数随生长时间的变化情况,即:

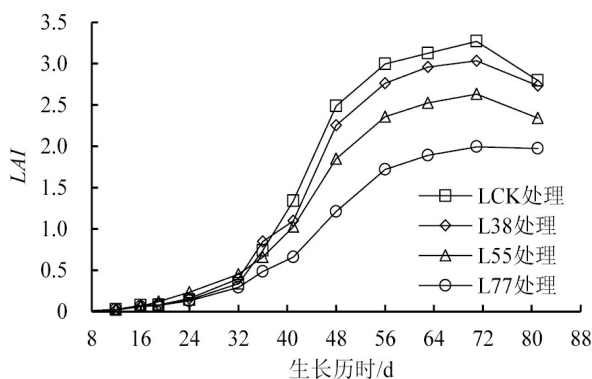


图5 不同控光条件春玉米叶面积指数的变化

$$LAI = \frac{LAI_{\max}}{1 + e^{\frac{a+bt+ct^2}{c}}}, \quad (3)$$

式中： LAI 为第 t 天玉米的叶面积指数； t 为出苗后时间(d)； $LAI_{\max}$ 为一定环境条件下单株玉米叶面积指数生长上限； a 、 b 、 c 为待定系数。参数 $c > 0$ ，当 $t \rightarrow \infty$ 时， $LAI \rightarrow 0$ ，符合叶片生长的实际情况；但当 $t = 0$ 时， $LAI = LAI_{\max}/(1 + e^0) \neq 0$ ，故 t 的取值范围为能够测定叶面积的时间即测定开始日至结束日。据此利用实测资料得到不同处理相应的模拟方程，结果见表3。

由表3可知各处理拟合决定系数均在0.99以上，所以控光条件下春玉米叶面积指数随生长时间的变化关系可用式(3)描述，且相关性高。

2.4 春玉米耗水规律分析

2.4.1 春玉米生长阶段日棵间蒸发强度变化过程

自布设微型蒸渗仪之日起，绘制不同光照条件下日棵间蒸发强度的变化过程，如图6所示。从图6看出，整个生育期内，春玉米的日棵间蒸发强度具有很强的波动性，各处理之间变化趋势基本一致，但在变化幅度上存在差异。灌水或者降雨之后日棵间蒸发强度明显增大，全生育期LCK、L38、L55、L77处理最大日棵间蒸发强度分别为3.42、3.10、2.95、2.74 mm/d，均发生在降雨或灌水后，说明灌水与降雨是引起日棵间蒸发强度波动的主要因素。

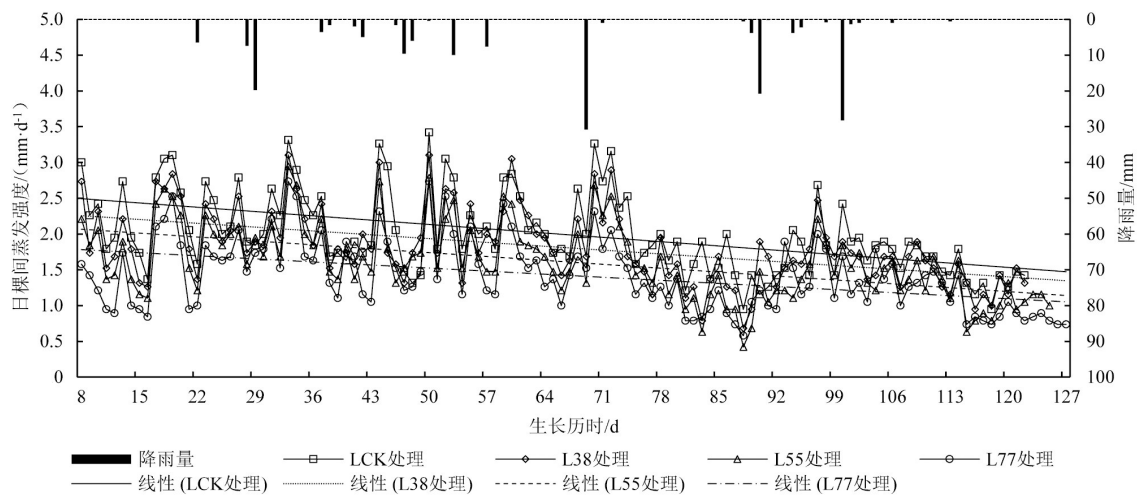


图6 日棵间蒸发强度变化过程与降雨量分布

不同生育期比较，苗期—拔节期各处理日棵间蒸发强度大，且变化幅度大，介于0.84~3.05 mm/d之间；拔节期—完熟期春玉米叶面积指数达到最大值，对地面的遮挡作用最大，降低了日棵间蒸发强度，但由于降雨较多，日棵间蒸发强度变化幅度较大；完熟期春玉米叶面积指数开始降低，但后期降雨较少，土壤表层含水率低，日棵间蒸发强度较小。全生育期LCK处理平均日棵间蒸发强度为2.00 mm/d，较L38、L55、L77处理分别增加9.17%、19.62%、29.34%，说明控光能够有效降低春玉米日棵间蒸发强度，随着控光程度的增大，对日棵间蒸发强度的削减越明显。利用线性关系拟合春玉米日棵间蒸发强度(E_t)与生长历时的关系如表4。

表4 日棵间蒸发强度随出苗后时间(t)变化的模拟方程

处理	拟合公式	R^2
LCK	$E_t = -0.0086t + 2.5026$	0.2507
L38	$E_t = -0.0076t + 2.3178$	0.2351
L55	$E_t = -0.0078t + 2.1292$	0.2659
L77	$E_t = -0.0061t + 1.9308$	0.1893

主要是由于棵间蒸发的影响因素太多。

2.4.2 春玉米棵间蒸发量与阶段耗水量的比值

表5为春玉米生长期阶段棵间蒸发量与耗水量的比值。不同生育期春玉米棵间蒸发量与阶段耗水量的比值差异明显，苗期，植株矮小，裸土面积大，棵间蒸发占比大；拔节期降雨较多，蒸发量占阶段耗水量的比例较大；开花吐丝期与乳熟期植株代谢迅速，叶面积指数大，植株蒸腾量大，棵间蒸发量占阶段耗水量的比重明显降低，乳熟期降至最低，为29.4%~38.0%；完熟期植株叶片逐渐老化，植株蒸腾量减少，棵间蒸发量占

别增加9.17%、19.62%、29.34%，说明控光能够有效降低春玉米日棵间蒸发强度，随着控光程度的增大，对日棵间蒸发强度的削减越明显。利用线性关系拟合春玉米日棵间蒸发强度(E_t)与生长历时的关系如表4。

由表4可以看出，春玉米日棵间蒸发强度与春玉米生长历时有一定的相关关系，但是相关性不高，这主要是

阶段耗水量的比例增大。不同处理春玉米棵间蒸发总量在171.4~230.6 mm之间,其中LCK处理的棵间蒸发量最大,L77处理最小,L38处理与LCK处理无显著差异,与L55和L77处理差异显著,L55和L77处理与LCK处理差异显著($P<0.05$),相对于LCK处理,L38、L55、L77处理棵间蒸发总量减少9.1%、16.9%、25.7%。

表5 春玉米各生长期阶段棵间蒸发量及其与耗水量的比值

指标	处理	苗期	拔节期	开花吐丝期	乳熟期	完熟期	全生育期
E_i/mm	LCK	43.7±1.0a	87.0±6.1a	29.3±3.6a	43.3±4.7a	27.3±6.6a	230.6±20.1a
	L38	39.0±1.8b	81.4±2.4a	26.3±2.3a	40.8±3.4ab	22.1±1.5ab	209.6±9.7ab
	L55	35.1±2.98b	73.6±3.9b	28.4±5.9a	35.2±1.2b	19.4±2.2b	191.6±8.3bc
	L77	30.1±3.0c	66.1±2.1b	22.8±3.4a	35.1±2.3b	17.4±1.0b	171.4±1.7c
$\frac{E_i}{ET_i}/\%$	LCK	70.6±5.0a	73.9±6.8a	44.9±6.5a	38.0±5.4a	97.2±0.7a	59.6±6.3a
	L38	65.3±1.8ab	71.7±3.3a	42.3±3.8ab	36.0±2.2ab	87.8±5.3a	56.1±1.9ab
	L55	76.5±3.5b	63.9±5.0a	54.7±9.8ab	34.0±2.1ab	56.8±12.2b	54.6±2.0ab
	L77	67.2±6.0b	70.8±6.0a	37.9±6.6b	29.4±1.6b	63.0±9.7b	49.7±2.3b

注 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$),下同; E_i 为春玉米阶段棵间蒸发量; ET_i 为春玉米阶段耗水量。

控光对春玉米棵间蒸发量的影响在不同生育期不同,拔节期各处理之间无明显差异,与LCK处理相比,L38处理在苗期差异显著,L55和L77处理在苗期、拔节期、乳熟期、完熟期均达到显著水平($P<0.05$),L55和L77处理除苗期差异显著外,其余生育期无明显差异。各处理棵间蒸发量占阶段耗水量的比值不同,完熟期LCK、L38处理棵间蒸发量占阶段耗水量的比值最大,L55、L77处理苗期棵间蒸发量占阶段耗水量的比值最大,分析原因为控光抑制玉米生长,苗期L55、L77处理玉米长势缓慢,植株耗水少,棵间蒸发量占比大,而L38处理受光抑制程度较L55、L77处理低,对玉米长势影响程度低,植株耗水较大,棵间蒸发占比小。

2.4.3 不同处理春玉米阶段耗水量及耗水模系数

表6为春玉米不同处理阶段耗水量以及耗水模系数。由表6可知,春玉米全生育期不同处理耗水量差异明显,LCK处理玉米耗水最高,为386.7 mm,其次为L38和L55处理,L77处理下的耗水量最少,L38、L55、L77处理较LCK处理总耗水减少3.3%、9.3%、10.8%,L55、L77处理与LCK处理差异显著($P<0.05$),表明L55、L77处理能够显著减少春玉米耗水量,L38、L55、L77处理之间无明显差异。不同生育期耗水强度不同,以开花吐丝期与乳熟期耗水强度最大,拔节期次之,苗期与完熟期相差不大,耗水强度均较小,与LCK处理相比,L38处理在开花吐丝期与完熟期差异显著,L77处理在各生育期差异均显著;处理之间比较,L38与L55处理在苗期、拔节期、开花吐丝期均差异显著,L55和L77处理在开花吐丝期和乳熟期差异显著。

表6 春玉米生长期间阶段耗水量与耗水模系数

指标	处理	阶段耗水量					耗水总量
		苗期	拔节期	开花吐丝期	乳熟期	完熟期	
耗水量/mm	LCK	61.8±4.0a	117.7±5.5a	65.2±1.7a	113.8±6.2a	28.1±3.1a	386.7±13.2a
	L38	59.7±2.6a	113.5±6.0a	62.1±1.5ab	113.5±4.4a	25.2±3.2ab	374±14.4ab
	L55	45.9±3.0b	115.2±14.5a	51.9±1.5b	103.6±4.5a	34.1±3.8b	350.7±24.1b
	L77	44.8±2.3b	93.3±7.2b	60.1±1.9c	119.4±1.8b	27.5±4.6b	345.1±12.2b
生长历时/d	LCK	39	39	13	26	18	135
	L38	39	39	14	27	18	137
	L55	39	39	16	27	17	138
	L77	40	39	17	28	18	142
耗水强度/(mm·d ⁻¹)	LCK	1.6±0.1a	3.0±0.1a	5.0±0.1a	4.4±0.2a	1.6±0.1a	2.9±0.1a
	L38	1.5±0.1a	2.9±0.2a	4.4±0.1b	4.2±0.2a	1.4±0.2b	2.7±0.1ab
	L55	1.2±0.1b	3.0±0.5b	3.2±0.1c	3.8±0.1a	2.0±0.2b	2.5±0.1bc
	L77	1.1±0.0b	2.4±0.2b	3.5±0.1d	4.3±0.1b	1.5±0.3b	2.4±0.1c
各生育期耗水模系数/%	LCK	16.0	30.4	16.9	29.4	7.3	
	L38	16.0	30.3	16.6	30.3	6.7	
	L55	13.1	32.8	14.8	29.5	9.7	
	L77	13.0	27.0	17.4	34.6	8.0	

从生育阶段来看,不同生育期之间耗水差异明显。拔节期春玉米代谢活动旺盛,生长迅速,叶面积增大,作物蒸腾作用增强,土壤蒸发很强,耗水量增加,耗水模系数最大,在27.0%~32.8%之间;乳熟期,玉米籽粒快速饱满,耗水量增大,耗水模系数次之,在29.4%~34.6%之间;苗期植株较小,对水分的需求不大;开花

吐丝阶段,持续时间较短;完熟期玉米新陈代谢缓慢,叶片脱落,植株蒸腾量大幅度减小,这3个生育阶段耗水模系数均小于20%,说明春玉米耗水的主要生育期为拔节期与乳熟期,共占总耗水量的59.8%以上。

3 讨论

1)控光措施对春玉米冠层温湿度有一定的影响。本研究中L38、L55、L77处理冠层温度均低于LCK处理,冠层相对湿度均高于LCK处理,这与贾士芳等^[18]、张吉旺等^[19]的研究结果一致。但史建国等^[20]研究表明遮光后玉米冠层温度增加,相对湿度降低,与本研究结果正好相反,这可能与试验处理的种植密度有关,本试验种植密度低,有利于株间空气流通。

2)叶面积指数越大,单位面积光合作用就越多,相应的蒸腾量也会更大^[22]。相关研究结果^[23-25]表明,控光会降低玉米叶面积指数,不同程度的控光,对玉米叶面积指数影响程度不同。本研究结果表明,L38处理春玉米叶面积指数下降不明显,但L55、L77处理叶面积指数下降明显,同时刘仲发^[26]研究遮荫对玉米茎秆形态特征的影响,结果表明30%遮光下玉米叶面积指数下降不明显,60%遮光下玉米叶面积指数下降明显。为保证玉米生长,需要通过调整控光强度,获得适宜的叶面积指数,减小蒸腾耗水,同时降低遮荫对光合作用的影响,保证物质积累。

3)土壤棵间蒸发受多种因素影响。本研究结果表明,各处理在玉米整个发育期内,日棵间蒸发强度随生长历时呈现降低的趋势,主要是叶面积指数的增大,地面被更多的覆盖,同时受气候影响;降雨或者灌水之后,土壤含水率剧烈变化,日棵间蒸发强度迅速增大,说明日棵间蒸发强度受降雨与灌水影响大,这与王新等^[27]的研究结果相似。不同控光处理下,春玉米棵间蒸发量明显不同,随着控光程度的增加,春玉米日棵间蒸发量均逐渐减小,在遮光较大时似乎与叶面积指数减小,棵间蒸发增大相矛盾,受控光影响,虽然植株叶面积减小,增加了透过玉米冠层到达棵间土壤表面的光,在其他环境条件相同的情况下,棵间蒸发在一定程度上会增大,但是由于L77处理遮挡了进入玉米冠层77%的光,在光照透过冠层进入棵间土壤表面之前,削弱程度较大,达到了叶面积指数增大对土壤表面覆盖的效果,从而导致L77处理相对LCK处理的棵间蒸发总体上减小。

4 结论

控光处理后随光照减小,冠层温度有所减小,而冠层湿度有所增大;玉米叶面积指数明显降低,生育期延长;在不同生育阶段,不同处理春玉米对水分的需求有较大的差异,耗水主要集中于拔节期与乳熟期,占总耗水的59.8%以上。春玉米棵间蒸发量与耗水量均随控光程度增加而降低,不同处理全生育期总耗水量在345.1~386.7 mm之间,L38、L55、L77处理较LCK处理总耗水减少3.3%、9.3%、10.8%。当控光程度大于38%时,玉米生长发育受到很大影响,结合作物生长及控光效率,控光程度不宜高于38%,控光时期可以集中在拔节期与乳熟期。

参考文献:

- [1] PETROUTSOS D, TOKUTSU R, MARUYAMA S, et al. A blue-light photoreceptor mediates the feedback regulation of photosynthesis [J]. *Nature*, 2016, 537(7621):563-566.
- [2] 王会肖,刘昌明. 作物光合、蒸腾与水分高效利用的试验研究[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(10):1 632-1 636.
- [3] LIU C, ZHANG X, ZHANG Y. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter[J]. *Agricultural & Forest Meteorology*, 2002, 111(2):109-120.
- [4] 寇明蕾,王密侠,周富彦,等. 水分胁迫对夏玉米耗水规律及生长发育的影响[J]. *节水灌溉*, 2008(11):18-21.
- [5] 曹雪松,李和平,郑和祥,等. 不同灌水量对饲料玉米耗水特性和生物量的影响[J]. *节水灌溉*, 2016(1):16-18.
- [6] 刘玉洁,李援农,潘韬,等. 不同灌溉制度对覆膜春玉米的耗水规律及产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(6):67-72.
- [7] 路振广,邱新强,杨静敏,等. 不同灌水定额条件下夏玉米生长发育及耗水特性分析[J]. *节水灌溉*, 2012(12):46-50.
- [8] 李全起. 不同种植模式下冬小麦夏玉米耗水特性研究[D]. 泰安:山东农业大学,2006.
- [9] 张海林,陈阜,秦耀东,等. 覆盖免耕夏玉米耗水特性的研究[J]. *农业工程学报*, 2002, 18(2):36-40.
- [10] 吕佳雯. 耕作及覆膜方式对高产春玉米耗水规律及水分利用的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
- [11] 刘琦,龚道枝,郝卫平,等. 利用AquaCrop模型模拟旱作覆膜春玉米耗水和产量[J]. *灌溉排水学报*, 2015, 34(6):54-61.

- [12] LI S X, WANG Z H, LI S Q, et al. Effect of plastic sheet mulch, wheat straw mulch, and maize growth on water loss by evaporation in dryland areas of China [J]. *Agricultural Water Management*, 2013, 116(2):39-49.
- [13] 李栋浩,姜雪连,佟玲. 种植密度对制种玉米根冠生长及耗水量的影响[J]. *排灌机械工程学报*, 2014, 32(12):1 091-1 097.
- [14] 赵娜娜,刘钰,蔡甲冰. 夏玉米生育期叶面蒸腾与棵间蒸发比例试验研究[J]. *灌溉排水学报*, 2009, 28(2):5-7.
- [15] 萧复兴,晋凡生,张彦芹. 旱地玉米农田棵间蒸发研究[J]. *激光生物学*, 1996, 5(4):938-941.
- [16] 宋国琛,邓亚军,高俊东. 水量平衡法不同测试手段测试农作物需水量差别研究[J]. *黑龙江水利科技*, 2008, 36(5):3-14.
- [17] 孔德胤,杨松,黄淑琴,等. 河套地区玉米叶面积指数的动态模拟[J]. *中国农业气象*, 2014, 35(3):281-286.
- [18] 贾士芳,董树亭,王空军,等. 弱光胁迫对玉米产量及光合特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(11):2 456-2 461.
- [19] 张吉旺,吴宏霞,董树亭,等. 遮荫对夏玉米产量和品质的影响[J]. *玉米科学*, 2009, 17(5):124-129.
- [20] 史建国,崔海岩,赵斌,等. 花粒期光照对夏玉米产量和籽粒灌浆特性的影响[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(21):4 427-4 434.
- [21] 李欢. 调亏灌溉条件下玉米耗水规律及灌溉方案评价试验研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2016.
- [22] 何海军,王晓娟,寇思荣. 西北旱作区不同种植密度对玉米光合特性和产量的影响[J]. *作物杂志*, 2017(6):91-95.
- [23] 张丽华,姚海坡,吕丽华,等. 遮荫对不同种植行向夏玉米生长发育及产量影响效应分析[J]. *华北农学报*, 2015, 30(s1):157-161.
- [24] 王洋,齐晓宁,邵金锋,等. 光照强度对不同玉米品种生长发育和产量构成的影响[J]. *吉林农业大学学报*, 2008, 30(6):769-773.
- [25] 刘贤赵,康绍忠,周吉福. 遮荫对作物生长影响的研究进展[J]. *干旱地区农业研究*, 2001, 19(4):65-73.
- [26] 刘仲发,勾玲,赵明,等. 遮荫对玉米茎秆形态特征、穿刺强度及抗倒伏能力的影响[J]. *华北农学报*, 2011, 26(4):91-96.
- [27] 王新,刘洪波,张江辉,等. 不同水分条件下干旱区葡萄园土面蒸发试验研究[J]. *土壤学报*, 2012, 49(5):1 050-1 055.

Effects of Light Intensity on Water Consumption of Spring Maize

CAO Yong¹, ZHANG Jianfeng^{1,2*}, LI Tao^{1,2}, SHENG Yabin¹

(1. State Key Laboratory Base of Eco-hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Shaanxi Key Laboratory of Water Resources and Environment, Xi'an 710048, China)

Abstract: **【Objective】** The purpose of this paper is to experimentally elucidate how water consumption of spring maize changes with light intensity. **【Method】** The experiment was conducted in a field consisting of four treatments: No shading (LCK), 38% shading (L38), 55% shading (L55) and 77% shading (L77). In each treatment, soil water content, soil evaporation and leaf area index were measured. **【Result】** Water content in 0~40 cm soil increased as the light intensity decreased and compared to LCK, L77, L55 and L38 increased the water content in 0~40 cm soil by 7.93%, 5.54% and 4.95% respectively during the growing season of the maize. Soil evaporation decreased as the maize grew and the average daily soil evaporation in L38, L55 and L77 was 9.17%, 19.62% and 29.34% lower than that in LCK respectively. The evapotranspiration varied between 345.1 mm and 386.7 mm, decreasing as the light intensity decrease, with the evapotranspiration in L38, L55 and L77 being 3.3%, 9.3% and 10.8% less than that in LCK. In the same treatment, evapotranspiration varied temporally, peaking at jointing and milking stage, with the water consumed during this period accounting for 59.8% of the total evapotranspiration. **【Conclusion】** Decrease in light intensity can effectively reduce soil evaporation and hence water consumption of the plants.

Key words: spring maize; light intensity; growth period; evapotranspiration; soil evaporation

责任编辑:赵宇龙