

# 不同遮光度对冬小麦生长发育和水分利用效率的影响

庞琳娜, 史文娟, 张建丰, 文利军, 李涛

(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, 陕西 西安 710048)

**摘要:** [目的] 探究不同程度遮光对冬小麦生长发育和水分利用效率的影响, 分析遮光条件下小麦的生长发育状况及耗水特性, 为节水灌溉提供新途径。[方法] 通过小区试验, 设置不遮光(CK)、20%遮光(L<sub>20</sub>)、40%遮光(L<sub>40</sub>)、60%遮光(L<sub>60</sub>)、80%遮光(L<sub>80</sub>)共 5 个处理组, 分析冬小麦株高、叶面积、干物质、产量和水分利用效率的变化特征。[结果] 遮光处理使冬小麦生育期延长, 叶面积增加, 但各处理间的株高无明显变化; L<sub>40</sub>, L<sub>60</sub>, L<sub>80</sub> 处理抑制了冬小麦茎、穗干物质的积累; 遮光使得光合产物在茎、叶、穗各器官中的分配比例发生变化, 但 L<sub>20</sub> 处理对冬小麦茎、叶、穗干物质的积累和分配无明显影响; 遮光使得土面蒸发量和冬小麦的总耗水量均明显降低, 且遮光度越大, 降低幅度越大; 与 CK 相比, L<sub>20</sub> 处理的产量下降了 4.23%, 水分利用效率则提高了 10.11%, 其他处理的产量和水分利用效率均有所下降。[结论] L<sub>20</sub> 处理对产量无明显影响, 但有效提高了水分利用效率, 起到了明显的节水作用。

**关键词:** 遮光; 冬小麦; 生长发育; 水分利用效率

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2018)04-0053-07

**中图分类号:** S152.7

**文献参数:** 庞琳娜, 史文娟, 张建丰, 等. 不同遮光度对冬小麦生长发育和水分利用效率的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 53-59. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.04.009. Pang Linna, Shi Wenjuan, Zhang Jianfeng, et al. Effects of different shading treatments on growth and water use efficiency of winter wheat[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(4): 53-59.

## Effects of Different Shading Treatments on Growth and Water Use Efficiency of Winter Wheat

PANG Linna, SHI Wenjuan, ZHANG Jianfeng, WEN Lijun, LI Tao

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

**Abstract:** [Objective] To explore the influence of different shading on the growth and development of winter wheat and water utilization efficiency, and to analyze the growth and water consumption characteristics of wheat under the condition of shading, so as to provide a new way for water-saving irrigation. [Methods] The characteristics of leaf area, dry matter, yield and water use efficiency of winter wheat plants were studied through cell experiments, which sets five treatment groups: non-shading(CK), 20% shading(L<sub>20</sub>), 40% shading(L<sub>40</sub>), 60% shading(L<sub>60</sub>) and 80% shading(L<sub>80</sub>). [Results] The growth period of winter wheat was prolonged and the leaf area was increased through shading treatment, but there was no obvious change in plant height in each treatment; The shading of L<sub>40</sub>, L<sub>60</sub> and L<sub>80</sub> inhibited the accumulation of stems and ear dry matter in winter wheat, and had the function of inhibiting leaf dry matter first and then promoting it; The allocation proportion of dry matter in stems, leaves and ear organs of winter wheat was changed by shading, but there was no significant impacts on the accumulation and distribution of winter wheat stem, leaf, and dry matter in L<sub>20</sub> shading; Both soil evaporation and total water consumption of winter wheat were significantly reduced in shading, and the larger the shading degree, the greater the decrease; Compared with CK, the yield of L<sub>20</sub> treatment was decreased by 4.23%, the water use efficiency was increased by 10.11%,

收稿日期: 2017-06-07

修回日期: 2018-03-21

资助项目: 国家自然科学基金项目“旱区盐碱地膜下滴灌间作棉田水盐迁移机制及土壤-植物系统响应”(51379172; 51379173); 陕西省教育厅重点实验室科研计划项目(16JS085)

第一作者: 庞琳娜(1993—), 女(汉族), 陕西省西安市临潼区人, 研究生, 研究方向为农业水土资源与生态环境。E-mail: 193208448@qq.com。

通讯作者: 张建丰(1961—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事农业水土资源高效利用研究。E-mail: zhangjf@xaut.edu.cn。

and the yield and water use efficiency of other shadings was decreased. [Conclusion] It can be seen that the water-use efficiency is effectively improved and the water saving effect is obvious without obvious effect on yield in L<sub>20</sub> shading.

**Keywords:** shading; winter wheat; growth and development; water use efficiency

水、光、气、热是植物生长和发育的重要环境因子,各因子之间相互制约,互相反馈,作用于作物的生长发育<sup>[1]</sup>。其中光是作物进行光合作用的基础,光照强度除影响作物的光合作用外,还影响作物对水分的利用效率。通过调控光照强度,可以影响作物生长发育和产量形成。如遮光程度和遮光时间持续的长短影响了作物生长发育以及干物质积累和分配<sup>[2-3]</sup>。汪丽娜等<sup>[4]</sup>研究表明厚朴在 52.5% 为最优遮光处理,在此条件平茬后厚朴萌蘖株数、叶片总数和叶芽总数等生长发育指标明显增大。陈传永等<sup>[5]</sup>研究结果表明在不同生育时期对玉米进行遮光处理,均导致其产量有所降低。朱肖锋等<sup>[6]</sup>研究结果表明棉花花铃期遮荫,影响棉花营养生长向生殖生长的转移,影响棉花的最终产量和品质,同时遮荫条件下,单株结铃数、单铃重、衣分和皮棉产量随透光率的降低显著降低。小麦是我国最重要的粮食作物之一,国内外学者<sup>[7]</sup>针对遮光处理对小麦生长发育的影响进行了大量研究。张元燕等<sup>[8]</sup>研究结果表明遮光处理不同程度地降低小麦地上及地下生物量。Li 等<sup>[9]</sup>的研究结果表明遮光会显著降低冬小麦的光合速率和光合强度,进而降低茎、穗干物质的累积,影响茎、叶、穗干物质的分配。张玉春等<sup>[10]</sup>认为,在冬小麦的灌浆期进行遮光,会显著降低冬小麦的光合能力,进而影响冬小麦干物质的形成,造成冬小麦减产。但也有学者<sup>[11]</sup>认为,适度的遮光有利于促进冬小麦的生长发育,增加作物地上干物质的累积,仅在遮光度高于 20% 的条件下,农作物的生长发育和产量会受到显著抑制效应。综上所述,关于遮光对冬小麦影响的研究,多集中为对其生长和产量的影响方面,而就遮光在农业节水中的潜力研究尚少。在中国西北干旱地区,水资源紧缺已成为制约农业生产的主要因素。遮光可显著降低麦田的棵间蒸发<sup>[12-13]</sup>,但未进一步研究遮光对作物耗水和水分利用效率方面的影响。因此,本研究通过小区试验进行不同程度遮光对冬小麦生长发育和水分利用效率的影响研究,旨在探讨遮光条件下小麦的生长发育状况及耗水特性,进一步为节水灌溉提供新途径。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2015—2016 年在陕西省西安市未央区中

关亭的试验小区进行,该地区属于暖温带半湿润大陆性季风气候,四季干湿冷暖分明,春季气温波动较大,夏季易发生伏旱,秋季干燥少雨,冬季寒冷,经常出现寒潮、霜冻及春旱的现象。多年平均气温 13.3 ℃,多年平均降水量 740.4 mm,7—9 月为降水高峰月,小麦生育期内总降雨量 156.4 mm,平均温度为 10.2 ℃。试验地土壤为中壤土,1 m 的土壤平均田间持水率为 25%,凋萎含水率为 8.9% (以上均为质量含水率),平均容重为 1.37 g/cm<sup>3</sup>。0—20 cm 土层土壤养分为:有机质量 11.02 g/kg,全氮量 0.85 g/kg,全磷量 1.40 g/kg,全钾量 22.7 g/kg。

### 1.2 试验设计

试验遮光处理从冬小麦拔节期(3 月 14 日)开始遮光直至收获(6 月中下旬)截止。供试的小麦品种为“西农 979”,由西北农林科技大学小麦育种研究室提供,为西安地区主栽品种,于 2015 年 10 月 16 日播种,播量为 303 kg/hm<sup>2</sup>,平均行距 12.11 cm。通过搭建薄、厚度和层数不同的遮阳网,遮挡自然光照强度的 20%,40%,60% 和 80% 共 4 种遮光处理,分别标记为 L<sub>20</sub>,L<sub>40</sub>,L<sub>60</sub> 和 L<sub>80</sub>,不遮光处理作对照记为 CK,共设置 5 种处理,每个处理重复 3 次,采用随机布设模式。遮阳网起始高度为 1 m,高度随着冬小麦的生长而逐渐增加。试验小区的面积为 3 m×2 m,小区布设如图 1 所示。为保证遮光处理期间土壤水分充足,通过土壤含水率确定冬小麦生长发育期的灌水量和灌水次数,当土壤的含水率低于 60% 的田间持水率时即进行灌溉,灌溉的上限为田间持水率,不同生育阶段计划湿润层深度根据主根系确定。

L <sub>80</sub>	L <sub>40</sub>	CK	L <sub>20</sub>	L <sub>60</sub>
L <sub>60</sub>	L <sub>80</sub>	L <sub>20</sub>	L <sub>40</sub>	CK
L <sub>80</sub>	L <sub>20</sub>	L <sub>60</sub>	CK	L <sub>40</sub>

图 1 小区分布示意图

### 1.3 测试项目和方法

(1) 土壤含水率的测定。土壤含水率用取土烘干法测定。每小区取 2 次重复,测定 0,20,40,60,80,100,120 cm 处的土壤含水率。

(2) 棵间蒸发的测定。棵间蒸发试验采用微型蒸渗仪测定,微型蒸渗仪包括外筒和内筒,内筒的

PVC管直径为110 mm,高为20 cm。为了保证周围的土体结构不被破坏,设置外筒,其PVC管直径为130 mm,高为22.5 cm。每个小区放置1个微型蒸渗仪,微型蒸渗仪中的土在每次灌溉后或降雨后需更换1次,采用精度为0.5 g的电子天平进行称质量,以确定每日的棵间蒸发。

(3) 株高叶面积的测定。从小区中选取5株长势均匀的冬小麦以确定其株高,根据其不同的生育阶段有所不同。按照《灌溉试验规范》测定冬小麦的株高<sup>[14]</sup>。拔节期前,从土壤表面量至所测植株叶子伸直后的最高叶尖;拔节期以后,量至最上部一片展开叶子的基部叶枕,抽穗后量至穗顶(不包括芒)。冬小麦叶面积的确定样本与株高相同,采用直尺或卷尺直接量取叶片的长和宽,根据长宽的乘积再乘以折减系数即可得到叶面积,叶面积公式为叶面积公式为:叶面积=长×宽×0.83(0.83查阅于农业气象观测规范)<sup>[15]</sup>。

(4) 干物质和产量的测定。冬小麦干物质的测定样本与株高相同,采集植物样地上部分,把茎、叶、穗分器官称鲜质量,然后100~105℃杀青1 h,调到70~80℃烘干12 h进行第一次称质量,以后每1 h称其质量1次,当样本前后2次质量差≤5%时,该样本不再烘干,称取干质量。待冬小麦成熟后,在小区内选取1 m<sup>2</sup>的样方进行测产,共取3个样方。逐个数出每个样方的穗数和并测定穗粒数,进行烤种,取平均值计算产量。

(5) 田间耗水量。根据水量平衡法对田间耗水量进行测定,计算公式为:

$$ET = P + I + U + \Delta W - R - S \quad (1)$$

式中:ET——田间耗水量(mm);P——降雨量(mm);I——灌水量(mm);U——地下水补给量(mm); $\Delta W$ ——土体内贮水量的变化(mm);R——径流量(mm);S——深层渗漏量(mm)。在公式(1)中,地下水补给量(U)和径流量(R)在地下水埋深比较深的平原地区可以忽略不计;降雨量(P)根据气象资料获得;土体内贮水量的变化( $\Delta W$ )为土壤1.2 m以上土壤含水量的变化,可根据测定土壤含水量获得;深层渗漏量(S)在1.2 m以下的土壤中可忽略不计。

(6) 水分利用效率。水分利用效率为植物每消耗单位含水量生产干物质的量,计算公式为:

$$WUE = Y/ET \quad (2)$$

式中:WUE——水分利用效率(kg/m<sup>3</sup>);Y——单位面积上作物的产量(kg);ET——单位面积上的田间耗水量(m<sup>3</sup>)。

#### 1.4 数据处理

采用SPSS 11.5 统计分析软件对不同处理间的株高、叶面积、干物质、产量要素和WUE进行单因素方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同遮光度对冬小麦生育期的影响

表1显示了不同遮光度下冬小麦的生育期的历时天数。由表1可知,遮光使冬小麦的生育期延长,其中遮光程度越高,生育期延长的时间越长。CK, L<sub>20</sub>, L<sub>40</sub>, L<sub>60</sub>, L<sub>80</sub>处理从拔节期到成熟期依次经历了63,64,66,70,73 d,其中冬小麦生育期延长表现最明显的是拔节期到孕穗期,其余生育阶段遮光对冬小麦生育期影响并不明显。

表1 不同遮光度下冬小麦生育期的历时天数

处理	拔节期—孕穗期	历时 天数/d	孕穗期—抽穗期	历时 天数/d	抽穗期—灌浆期	历时 天数/d	灌浆期—成熟期	历时 天数/d	拔节期—成熟期	历时 天数/d
CK	0314—0402	19	0402—0409	7	0409—0418	9	0418—0517	29	0314—0517	63
L <sub>20</sub>	0314—0403	20	0403—0411	8	0411—0420	9	0420—0518	28	0314—0518	64
L <sub>40</sub>	0314—0406	23	0406—0414	8	0414—0422	8	0422—0520	28	0310—0520	66
L <sub>60</sub>	0314—0410	27	0410—0417	7	0417—0426	9	0426—0524	28	0314—0524	70
L <sub>80</sub>	0314—0413	30	0413—0420	7	0420—0428	8	0428—0527	29	0314—0527	73

### 2.2 不同遮光度对冬小麦株高和叶面积的影响

图2显示了冬小麦株高在不同遮光强度下的变化过程。随着遮光时间的延长,整个生育期冬小麦的株高在一定范围内逐渐增大,到4月24日后株高基本保持不变。不同遮光处理自4月9日之后株高差异逐渐显示出来,到了4月26日以后,所有处理的株高都基本达到了最大值,此时CK株高略小于各遮光

处理的株高,其中CK比L<sub>20</sub>, L<sub>40</sub>, L<sub>60</sub>, L<sub>80</sub>处理降低了0.987%, 2.013%, 1.326%, 1.742%。对5组不同遮光度下冬小麦的株高进行显著性方差分析,发现差异性并不明显( $p > 0.05$ ),这说明遮光对冬小麦株高的影响并不明显。

图3显示了冬小麦叶面积在不同遮光强度下的变化过程。冬小麦叶面积的大体趋势基本相同都是

先增加后减小,呈抛物线形。各处理叶面积达到最大值的时期在 4 月 12 日左右,明显早于株高达到最大值的时间。在 4 月 12 日,CK 叶面积比  $L_{20}$ ,  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  处理组叶面积降低了 5.77%, 18.59%, 12.82%, 22.43%。冬小麦叶面积大体趋势表现为:  $L_{80} > L_{60} > L_{40} > L_{20} > CK$ , 说明遮光对叶面积有促进作用。对 5 组不同遮光下冬小麦的叶面积进行显著性方差分析, 发现存在显著差异 ( $p < 0.05$ ), 这说明遮光对冬小麦叶面积的影响显著, 而且遮光程度越高, 小麦叶面积越大。

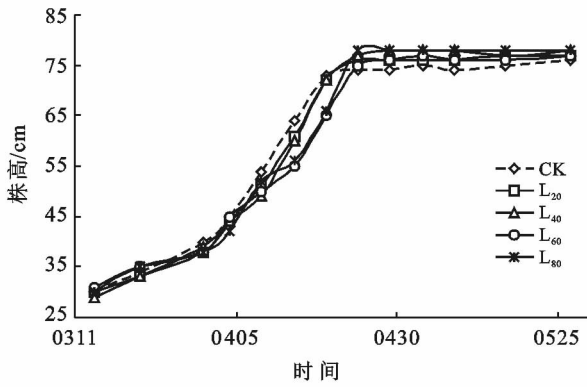


图 2 不同遮光度下冬小麦株高的动态变化

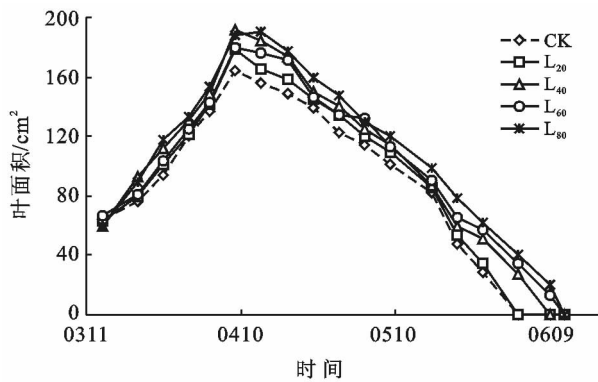


图 3 不同遮光度下冬小麦叶面积的动态变化

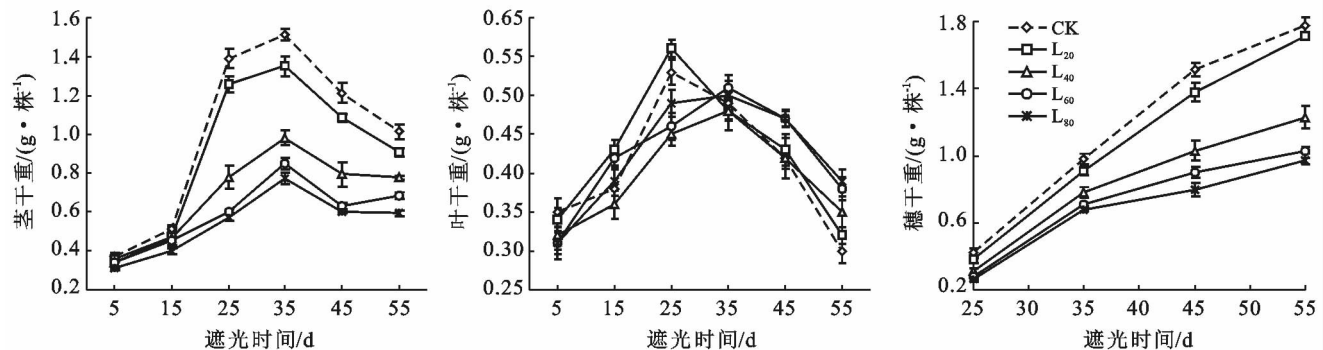


图 4 不同遮光度下冬小麦干物质积累的动态变化

## 2.3 不同遮光度对冬小麦干物质积累和分配的影响

2.3.1 不同遮光度对冬小麦干物质积累的影响 图 4 显示了不同遮光度下冬小麦干物质积累的变化。茎、叶干物质的积累过程总体上呈抛物线型, 先迅速增加后逐渐减小, 而穗干重的积累呈递增型, 遮光期间一直增长。另外, 遮光处理对茎、穗干物质的积累有一定的抑制作用, 遮光程度越高, 抑制作用越明显。而叶干物质的积累过程, CK,  $L_{20}$  处理遮光后 5~25 d 呈现促进作用, 25~55 d 呈现抑制作用,  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  处理遮光后 5~30 d 呈现促进, 30~55 d 呈现抑制作用。遮光度不同茎干重不同。在遮光前 15 d 各遮光组的茎干重均比 CK 有所下降, 但处理间差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 而遮光后 25~55 d,  $L_{20}$ ,  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  处理分别比 CK 下降了 3.75%~6.62%, 25.37%~41.63%, 35.44%~46.99%, 39.09%~48.78%, 且  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  处理与 CK 相比存在显著差异 ( $p < 0.05$ ), 但  $L_{20}$  与 CK 之间差异不显著 ( $p > 0.05$ )。说明  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  处理抑制茎干质量的积累, 而  $L_{20}$  处理对茎干重无明显影响。遮光度不同叶干重不同。遮光前期 CK 处理单株叶干重大于其他处理而后期小于其他处理。其中  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  处理在遮光后 45~55 d 比 CK 分别上升了 4.76%~16.67%, 11.91%~26.67%, 14.28%~30.00% ( $p < 0.05$ ),  $L_{20}$  处理在遮光后 45~55 d 比 CK 上升了 2.38%~5.67%, 但差异性不显著 ( $p > 0.05$ )。从总体来看, 孕穗期之前, 遮光抑制了叶干重的积累, 而孕穗期之后遮光促进了叶干重的积累, 同时遮光使叶干重的最大值减小。遮光度不同穗干重的积累过程也不同。和对照相比, 各遮光处理穗干重的积累速度均受到一定程度的抑制。其中  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  处理在遮光后 25~55 d 与 CK 相比穗干重分别下降了 26.19%~30.89%, 33.33%~42.13%, 38.09%~45.51% ( $p < 0.05$ ),  $L_{20}$  处理在遮光后 25~55 d 比 CK 下降了 3.93%~6.52%, 但差异性并不显著 ( $p > 0.05$ )。这说明  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  遮光处理抑制了穗干重的积累, 而且遮光程度越高, 抑制作用越明显, 但  $L_{20}$  处理对穗干重无明显影响。

2.3.2 不同遮光度对光合产物在各器官分配的影响

图 5 显示了不同遮光度下冬小麦干物质分配的变化。遮光条件下不仅导致了冬小麦干物质积累量的减少,而且还使冬小麦干物质在茎、叶、穗各器官间分配失调。不同遮光度下干物质分配明显不同,随着遮光天数的增加,穗干重所占的比率逐渐增大,叶干重和茎干重所占的比率逐渐减小。到成熟期 CK, L<sub>20</sub>, L<sub>40</sub>, L<sub>60</sub>, L<sub>80</sub> 茎干重所占总干重的比例依次为

32.75%, 30.86%, 32.36%, 31.69% 和 31.21%, 叶干重所占总干重的比例依次为 9.67%, 10.90%, 14.98%, 18.41% 和 19.73%, 穗干重所占总干重的比例依次为 57.55%, 58.24%, 52.65%, 49.90%, 49.06%。由此可知遮光对茎干物质的分配无明显影响, L<sub>40</sub>, L<sub>60</sub>, L<sub>80</sub> 处理促进了干物质向叶片的分配, 抑制了穗干重的分配, 但 L<sub>20</sub> 处理对茎、叶、穗干物质的分配均无明显影响。

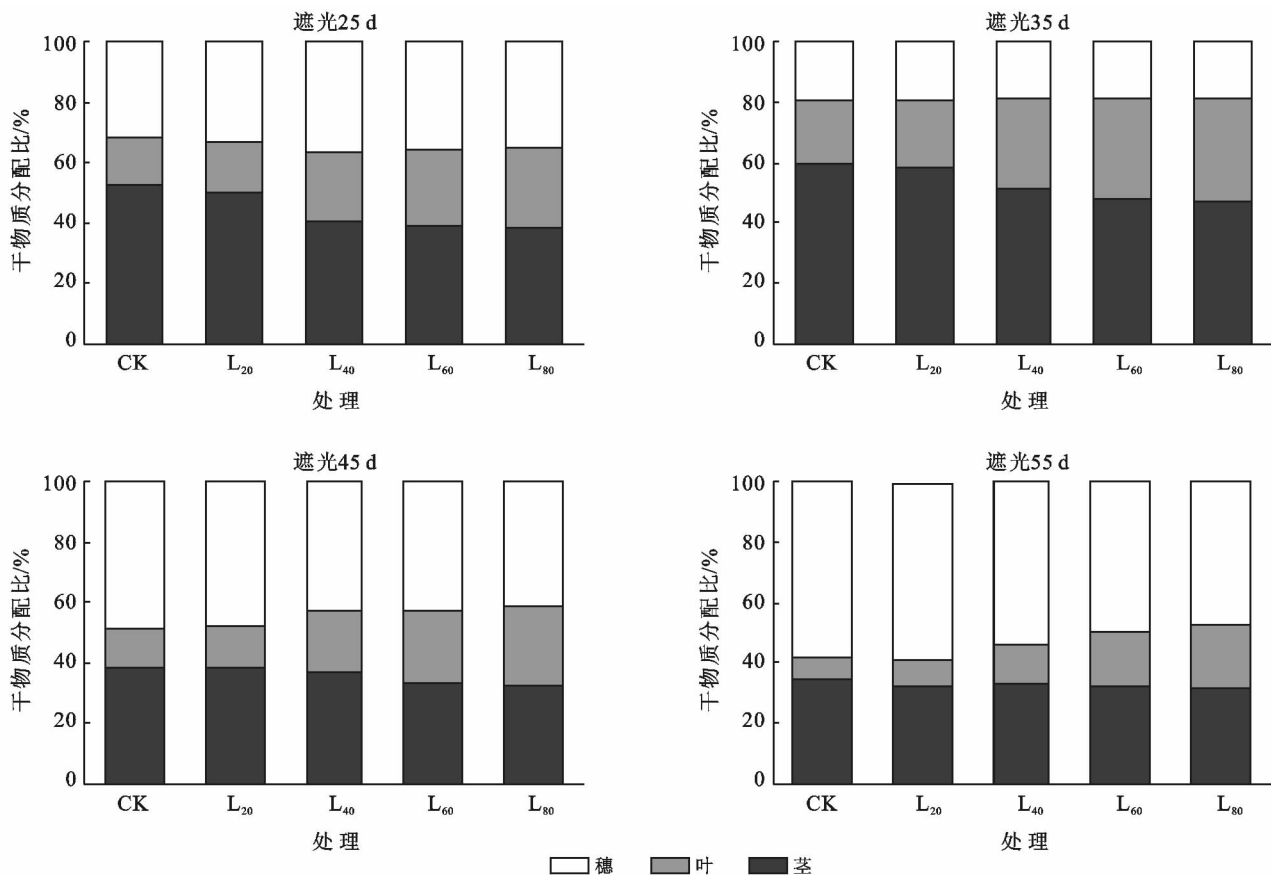


图 5 不同遮光度下冬小麦干物质分配

2.4 不同遮光度对冬小麦的产量及产量构成要素的影响

表 2 显示了不同遮光度下冬小麦穗数、穗粒数、千粒重和产量的变化。L<sub>20</sub>, L<sub>40</sub>, L<sub>60</sub>, L<sub>80</sub> 处理的产量比 CK 的产量分别下降了 4.23%, 58.13%, 73.26% 和 74.60%, 穗数分别下降了 3.38%, 13.8%, 28.28% 和 30.78%, 穗粒数分别下降了 9.74%, 34.14%, 41.46% 和 58.54%, 千粒重分别下降了 3.76%, 16.95%, 24.78%, 28.58%。由此可知 L<sub>40</sub>, L<sub>60</sub>, L<sub>80</sub> 处理产量和穗数、穗粒数、千粒重与 CK 相比都明显下降, 存在显著性差异 ( $p < 0.05$ ), 但 L<sub>20</sub> 处理穗数、穗粒数、千粒重和产量与 CK 相比无明显下降, 不存在显著性差异 ( $p > 0.05$ ), 说明 L<sub>40</sub>, L<sub>60</sub>, L<sub>80</sub> 处理明显使产量下降, 但 L<sub>20</sub> 处理对产量无显著影响。

表 2 不同遮光度下冬小麦的产量及其组成成分

不同遮光处理	穗数/ (个 · m <sup>-2</sup> )	穗粒数/ (粒/个)	千粒重/ g	产量/ (t · hm <sup>-2</sup> )
CK	679 <sup>a</sup>	41 <sup>a</sup>	44.67 <sup>a</sup>	7.54 <sup>a</sup>
L <sub>20</sub>	656 <sup>a</sup>	37 <sup>a</sup>	43.05 <sup>a</sup>	7.23 <sup>a</sup>
L <sub>40</sub>	585 <sup>b</sup>	27 <sup>b</sup>	37.1 <sup>b</sup>	3.15 <sup>b</sup>
L <sub>60</sub>	487 <sup>c</sup>	24 <sup>b</sup>	33.6 <sup>c</sup>	2.02 <sup>c</sup>
L <sub>80</sub>	470 <sup>d</sup>	17 <sup>c</sup>	31.9 <sup>c</sup>	1.91 <sup>c</sup>

注: 同列数据后不同字母表示差异性显著。下同。

2.5 不同遮光度对冬小麦棵间蒸发和水分利用效率的影响

表 3 显示了不同遮光度下冬小麦的灌水量、降雨量、棵间蒸发量、耗水量和水分利用效率。其中 CK 灌水量最大, L<sub>20</sub>, L<sub>40</sub>, L<sub>60</sub>, L<sub>80</sub> 处理依次减小。L<sub>20</sub>,

$L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  处理的棵间蒸发量比 CK 依次下降了 13.09%, 39.04%, 44.57%, 50.60% ( $p < 0.05$ ), 可见遮光使冬小麦棵间蒸发量明显降低, 且遮光程度越高, 降低幅度越大。  $L_{20}$ ,  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  各处理耗水量均小于 CK, 这说明遮光降低了冬小麦的耗水量。  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  处理的水分利用效率比对照组依次降低了 40.47%, 53.57%, 61.90% ( $p < 0.05$ ), 但  $L_{20}$  处理的水分利用效率比对照组提高了 10.11% ( $p < 0.05$ )。说明  $L_{20}$  处理显著提高了冬小麦的水分利用效率, 但  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  处理显著降低了冬小麦的水分利用效率。

表 3 不同遮光度下冬小麦棵间蒸发量和水分利用效率的变化

不同遮光处理	灌水量/ mm	降雨量/ mm	棵间蒸 发量/mm	耗水量/ mm	水分利用效率/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )
CK	119.15 <sup>a</sup>	62.80	54.36 <sup>a</sup>	450 <sup>a</sup>	1.68 <sup>b</sup>
$L_{20}$	113.31 <sup>a</sup>	62.80	48.07 <sup>b</sup>	390 <sup>b</sup>	1.85 <sup>a</sup>
$L_{40}$	102.17 <sup>b</sup>	62.80	33.14 <sup>c</sup>	320 <sup>c</sup>	1.00 <sup>c</sup>
$L_{60}$	93.67 <sup>b</sup>	62.80	30.13 <sup>c</sup>	300 <sup>c</sup>	0.78 <sup>d</sup>
$L_{80}$	93.00 <sup>b</sup>	62.80	26.73 <sup>d</sup>	270 <sup>d</sup>	0.64 <sup>e</sup>

### 3 讨论

通过上述研究,可以看出遮光对冬小麦的生长发育、干物质的累积、产量、耗水量和水分利用效率具有显著的影响。遮光处理从拔节期(3月14号)开始到收获期(6月中下旬)截止,遮光时间相对较长,覆盖了作物的主要生殖生长阶段。遮光影响最大的气候因子是光因子,遮光期间光辐射的积累减少,同时使地气温度下降,对冬小麦茎和穗的干物质积累呈明显的抑制作用。其原因很可能是遮光导致了温度和光照的降低<sup>[16]</sup>,温度降低又进一步使有效积温、日温差变小,同时光照的降低导致了光合有效辐射的减少。温度和光照的降低对冬小麦光合作用的光能初始利用效率和叶片最大光合速率均有一定负效应<sup>[17]</sup>,降低冬小麦的生长率最大值,使其最大生产力开始的时间推后,最大生长阶段缩短,生育期延长,同时阻碍了光合产物向各器官的供应。但遮光对冬小麦叶干重早期呈抑制作用后期呈促进作用。其原因很可能是遮光早期阻碍了光合产物向各器官的供应,对冬小麦的叶片产生了一定的抑制,而由于长期遮光导致冬小麦植株叶片老化减慢,且贪青迟熟,因此遮光后期叶干重增大<sup>[18]</sup>,另一方面遮光对冬小麦叶干重后期呈促进作用的原因也有可能是因为各处理组生育期的错位,导致叶干重数据的错位。小麦生育后期特别是灌浆期需要充足的光照,灌浆期光照强度不足会影响小麦的光合作用和干物质的累积,如房稳静等<sup>[19]</sup>认

为在小麦生育后期通过光合作用累积的干物质占小麦籽粒干物质来源的 70%~80%。小麦开花后遮光强度减弱至 20% 以上时导致光合产物积累明显降低,使小穗不育性增加,穗粒重减少,产量大幅度降低。同时,弱光对冬小麦产量的影响因品种而异,不同小麦品种对弱光的适应能力差别很大。而本试验所选取“西农 979”对弱光适应能力较强,因此当遮光强度小于 20% 时,遮光对冬小麦产量影响并不显著。同时弱光降低了冬小麦的棵间蒸发量,提高了冬小麦的水分利用效率。这是由于由于弱光导致叶面积指数增大,从而降低了棵间蒸发。另外光照强度与植物水分利用效率的关系比较复杂,其与植物的光合作用及蒸腾作用均有密切关系,光照是植物赖以生长的前提条件,而水分则是植物生长和运输物质的基础与载体。光照条件的变化必然引起光合作用、蒸腾作用的改变,进而影响植株对水分的吸收和利用<sup>[20]</sup>。

就遮光度对小麦生长及水分利用效率的影响,通过本文可以发现遮光度在 20% 的情况下,其节水的效果较为显著,但该结论仅在陕西西安特定研究区域获得,在区域乃至大尺度流域上是否为最佳遮光度,仍然需要进一步研究。当晴天光照过强时,小麦气孔关闭会出现“光合午休”现象,选取中午光照较强时刻和营养生长期较为旺盛的拔节期进行遮光,会显著提升小麦的光合作用增加干物质的累积,进而提升水分利用效率<sup>[21]</sup>。尽管上述研究在遮光度和遮光时段选取对小麦生长的影响方面进行了研究,但就遮光度和不同的遮光时段对小麦的生长机理研究尚未涉及,如不同遮光度条件下,小麦生长模型的建立及土壤水分迁移模型的建立有待进一步研究。

### 4 结论

(1) 遮光处理延长了冬小麦拔节期到孕穗期的生长历时,遮光程度越高,对生育期的延长越显著,但遮光处理对其他对生育期的生长历时影响不显著。此外,遮光可促进叶片的生长,遮光度越大叶面积越大,但对冬小麦株高无差异影响。

(2) 与 CK 相比,  $L_{20}$  处理对冬小麦茎、叶、穗干物质的累积和产量影响并不明显,但  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  处理显著降低了冬小麦单株茎、穗干物质的累积以及冬小麦产量,且随着遮光程度的增大,  $L_{40}$ ,  $L_{60}$ ,  $L_{80}$  处理的茎干质量依次下降了 41.63%, 46.99% 和 48.78%, 穗干质量依次下降了 30.89%, 42.13% 和 45.51%, 产量分别下降了 58.13%, 73.26%, 74.60%。

(3) 遮光显著降低了冬小麦的棵间蒸发量和耗

水量,与对照组相比, $L_{20}$ , $L_{40}$ , $L_{60}$ , $L_{80}$ 处理组的土壤棵间蒸发量分别降低了13.09%,39.04%,44.57%和50.60%;当遮光度为20%时,在产量不变情况下水分利用效率却提高了10.11%,说明适宜的遮光可提高水分利用效率。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 康东辉.水肥温度诸因子对塔额盆地冬小麦生长发育的影响[J].现代农村科技,2016(6):11-11.
- [2] 陈传永,王荣焕,赵久然,等.不同生育时期遮光对玉米籽粒灌浆特性及产量的影响[J].作物学报,2014(9):1650-1657.
- [3] 刘希伟,张敏,姚凤娟,等.花后不同强度遮光对糯小麦和非糯小麦干物质积累和产量的影响[J].麦类作物学报,2015,35(4):521-527.
- [4] 汪丽娜,杨志玲,杨旭,等.不同遮光处理对平茬后厚朴萌蘖株部分形态及生理指标的影响[J].植物资源与环境学报,2017,26(2):22-30.
- [5] 陈传永,王荣焕,赵久然,等.不同生育时期遮光对玉米籽粒灌浆特性及产量的影响[J].作物学报,2014,12(9):1650-1657.
- [6] 朱肖锋,周守标,郑和权,等.遮光对马蹄金生物量分配和形态特征的影响[J].生态学杂志,2009,28(7):1419-1422.
- [7] 刘希伟,张敏,姚凤娟,等.花后不同强度遮光对糯小麦和非糯小麦干物质积累和产量的影响[J].麦类作物学报,2015,35(4):521-527.
- [8] 张元燕,季永华,贾恒,等.遮光处理对不同生育期小麦生物量分配和叶片叶绿素含量的影响[J].植物资源与环境学报,2009,18(4):39-45.
- [9] Li He, Dong Jin, Bernd W, et al. Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat [J]. European Journal of Agronomy, 2010,33(4):267-275.
- [10] 张玉春,张敏,刘希伟,等.花后持续弱光对冬小麦光合特性及产量的影响[J].麦类作物学报,2017,37(8):1038-1046.
- [11] Mitchell R A C, Gibbard C L, Mitchell V J, et al. Effects of shading in different developmental phases on biomass and grain yield of winter wheat at ambient and elevated  $CO_2$  [J]. Plant Cell & Environment, 1996,19(5):615-621.
- [12] 牟会荣,姜东,戴廷波,等.遮光对小麦籽粒淀粉品质和花前贮存非结构碳水化合物转运的影响[J].应用生态学报,2009,20(4):805-810.
- [13] 杨林林,高阳,韩敏琦,等.基于SIMDual\_Kc模型的豫北地区麦田土壤水分动态和棵间蒸发模拟[J].水土保持学报,2016,30(4):147-153.
- [14] 苗晋.全国《灌溉试验规范》在积极编制中[J].中国农村水利水电,1987,10(6):8-23.
- [15] 周泽民.对《农业气象观测规范(上卷)》中若干技术问题的商榷[J].暴雨灾害,1998,17(2):37-39.
- [16] Bell G E, Danneberger T K. Temporal shade on creeping bentgrass turf [J]. Crop Science, 1999,39(4):1142-1146.
- [17] 于强,王天铎,刘建栋,等.玉米株型与冠层光合作用的数学模拟研究[J].作物学报,1998,24(1):7-15.
- [18] 王家保,王令霞,陈业渊,等.不同光照度对番荔枝幼苗叶片生长发育和光合性能的影响[J].热带作物学报,2003,24(1):48-51.
- [19] 房稳静,张雪芬,郑有飞.冬小麦灌浆期干旱对灌浆速率的影响[J].中国农业气象,2006,27(2):98-101.
- [20] McMaster G S, Morgan J A, Willis W O. Effects of shading on winter wheat yield, spike characteristics, and carbohydrate allocation [J]. Crop Science (United States), 1987,27(5):967-973.
- [21] Yang Wei Peng, Guo Tao Chen, et al. Light intensity on flag leaf photosynthetic characteristics and water use of two spike-type cultivars of winter wheat [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008,23(2):9-11.

(上接第52页)

- [48] 马文红,杨元合,贺金生,等.内蒙古温带草地生物量及其与环境因子的关系[J].中国科学:生命科学,2008,38(1):84-92.
- [49] 张颖,章超斌,王钊齐,等.气候变化与人为活动对三江源草地生产力影响的定量研究[J].草业学报,2017,26(5):1-14.
- [50] 郭灵辉,郝成元,吴绍洪,等.内蒙古草地NPP变化特征及其对气候变化敏感性的CENTURY模拟研究[J].地理研究,2016,35(2):271-284.
- [51] 李青丰,李福生,乌兰.气候变化与内蒙古草地退化初探[J].干旱地区农业研究,2002,20(4):98-102.
- [52] Zhang Yili, Qi Wei, Zhou Caiping, et al. Spatial and temporal variability in the net primary production of alpine grassland on the Tibetan Plateau since 1982 [J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(2): 269-287.
- [53] 张颖,章超斌,王钊齐,等.气候变化与人为活动对三江源草地生产力影响的定量研究[J].草业学报,2017,26(5):1-14.
- [54] 江勇,付梅臣,王增,等.土地利用变化对生态系统碳汇—碳源的影响研究:以河北武安市为例[J].安徽农业科学,2010,38(24):13067-13069.