

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2019.02.015

# 遮荫对冬小麦生长及形态建模的影响

石鹏兵<sup>1</sup>, 张建丰<sup>1,2</sup>, 李涛<sup>1,2</sup>, 申亚宾<sup>1</sup>

(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, 陕西 西安 710048;

2. 西安理工大学 陕西省水资源与环境重点实验室, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 为了探究光照条件的改变对冬小麦生长形态的影响。设置 4 种遮荫处理, 分别达到光照强度的 81.3%(L81.3)、57.9%(L57.9)、43.6%(L43.6)和 27.8%(L27.8), 无遮荫处理作常规对照记为 CK。结果表明, 对冬小麦从拔节期至成熟期长期遮荫, 可造成随着光照强度的减小, 冬小麦各生育期延长的情况逐渐加剧, 株高在拔节期至抽穗期逐渐减小, 叶面积和叶面积峰值逐渐增加, 以及穗长线性减小。不同遮荫处理对最终株高没有形成较为明显的规律性。叶面积随着冬小麦生长时间的变化表现出“先增大, 后减小”的规律, 不同遮荫条件下, 叶面积的峰值发生偏移, 且峰值相对增加值和光强消减值之间的关系用指数函数拟合具有较好的相关性, 遮荫在一定程度上促进了叶面积的增加, 同时延缓了叶面积变黄和衰老。用 Logistic 函数拟合株高、Gauss 函数拟合叶面积和线性拟合穗长均有较好的相关性。因此, L81.3 处理对冬小麦生长形态影响较小, 用拟合函数可以进行不同光照条件下各指标的预测, 并且对研究冬小麦生长形态等方面的变化对产量和耗水等方面的影响。

**关键词:** 冬小麦; 遮荫; 生长性状

**中图分类号:** S5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-4710(2019)02-0242-06

## Effect of shading on the growth morphology of winter wheat

SHI Pengbing<sup>1</sup>, ZHANG Jianfeng<sup>1,2</sup>, LI Tao<sup>1,2</sup>, SHEN Yabin<sup>1</sup>

(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 University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of light conditions on the growth morphology of winter wheat, 4 shading treatments were set up, respectively reaching to 81.3% (L81.3), 57.9% (L57.9), 43.6% (L43.6) and 27.8% (L27.8) of light intensity, and with no shade treatment recorded as CK. The results showed that long-term shading from jointing stage to maturity stage could result in the extension of winter wheat growth stages, the decrease of plant height from jointing stage to heading stage, the increase of peak leaf area and leaf area, and the linear decrease of spike length with the decrease of light intensity. Different shading treatments have no obvious regularity for the final plant height. Leaf area showed the rule of “first increased, and then decreased” with the growth time of winter wheat. The peak value of leaf area is offset under different shading conditions, and the relationship between peak value and light intensity is better correlated with exponential function fitting. Shading promotes the increase of leaf area to a certain extent, and delays the yellowing and senescence of leaf area. Logistic function fitting plant height, Gauss function fitting leaf area and linear fitting panicle length have good correlation. Therefore, the L81.3 treatment has little effect on the growth morphology of winter wheat, and fitting function could be used to predict the various indicators under different light conditions and

**收稿日期:** 2018-08-14

**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资助项目(XAB18.716AW06); 陕西省教育厅科研计划资助项目(16JS084)

**作者简介:** 石鹏兵, 男, 硕士生, 研究方向为作物节水理论与技术。E-mail: 1847867287@qq.com

**通讯作者:** 张建丰, 男, 教授, 博导, 研究方向为节水、水信息检测与灌区自动化等。E-mail: jfzhang@mail.xaut.edu.cn

to study the effects of changes in growth morphology of winter wheat on yield and water consumption.

**Key words:** winter wheat; shading; growth traits

光的获取是作物生长的必需品,对作物的生长发育和形态等方面有着重要的作用,作物在光照变化的情况下通过形态特征等方面的变化来适应在这种情况下下的生存。冯妍<sup>[1]</sup>发现随着太阳辐射减弱,冬小麦的生育期延长,植株衰老延迟,株高和叶面积增加,穗长减小,麦博儒<sup>[2]</sup>发现 60%~20%光下冬小麦叶面积和株高均增加,陆昱等<sup>[3]</sup>发现太阳辐射降低造成冬小麦生育期延长。王一等<sup>[4]</sup>发现出苗至盛花期遮荫对大豆叶面积影响最大,杨东等<sup>[5]</sup>发现不同生育阶段的 55%遮荫处理 14d,其中以移栽期遮荫处理造成了水稻株高的明显增加,成熟期后各处理下的株高差异不显著。潘福霞等<sup>[6]</sup>发现遮荫处理下紫云英的出苗数和株高均高于无遮荫组。刘国顺等<sup>[7]</sup>发现随光照强度的减弱,植株茎秆变细,叶片的长宽比增加,叶片数减少,干物质重逐渐减少和籽粒品质下降,并以 72.2%的全光照条件下的株高、叶面积最大。可以得出遮荫对不同作物不同指标表现出不同的影响程度,光照条件改变的情况下作物通过改变自身的性状来调节对新环境的适应,以达到最适宜的生长。时向东、李东科和曹勇等<sup>[8-10]</sup>均发现控光对作物冠层产生不同程度的影响,控光度越小对作物的影响越小。

综上所述,遮荫对于作物产生了不同程度的影响,受遮荫强度的影响不同作物亦表现出积极或消极的响应。目前,遮荫材料和光强控制时间与冬小麦生长性状之间的关系鲜有报道,因此,本文用遮荫网设置四种遮光梯度长期遮荫条件下探究对冬小麦生长性状的影响,并进行函数拟合用以在不同光照强度下各性状值的预测。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设计

田间试验于 2015—2016 年在西安市未央区试验站进行。降水年际变化较大,多年平均降水量 550 mm。本次试验所采用的冬小麦品种为西农 979,小麦种植方式为条播,行距为 15 cm,播种量为 162 kg/hm<sup>2</sup>。播前基肥施用磷酸二铵 750 kg/hm<sup>2</sup>,尿素 750 kg/hm<sup>2</sup>。为防止害虫对种子的危害,在播种前用农药进行拌制。

试验为单因素试验,控制因素为光强,为 1 因素,5 水平试验。试验以光照强度为基础,通过搭建薄、厚不同的遮荫网,分别获得光照强度的 81.3%、

57.9%、43.6%和 27.8%共 4 种遮荫处理,分别标记为 L81.3、L57.9、L43.6 和 L27.8,无遮荫处理作常规对照记为 CK。各试验处理总计 3 次重复并随机分布。遮荫处理自冬小麦拔节期开始至完全成熟期结束。大田试验期间,根据冬小麦在不同生育阶段的生长情况,适时调整遮荫网的高度,使遮荫网与冬小麦冠层间始终保持着 30cm 的高度,以保证试验小区内的通风,同时也便于取样与数据测量。

### 1.2 测量指标

生育期观测:观测区域内的冬小麦植株上或茎上表现出某一发育期的特征时,意味着该植株进入了某一发育期。当样本数量第一次大于或等于总体数量的 10%称为发育始期,大于或等于总体数量的 50%称为发育普遍期,大于或等于总体数量的 80%称为发育末期。穗长、株高和叶面积采用卷尺直接进行测量。从小区中选取 5 株长势均匀的小麦进行定株测量,测量时株高从土壤表面量至所测植株叶子伸直后的最高叶尖;自拔节期之后,则须量至最顶部叶片的叶枕,抽穗后则量至除去芒的穗的顶部,测量叶片长和宽,根据长宽的乘积再乘以矫正系数即可得到叶面积。测量时间每 7 天进行一次。

### 1.3 统计

采用 Excel 2007 和 Origin 2016 软件进行数据处理和绘图,采用 Origin 2016 和 SPSS 统计分析软件进行方差和相关性分析。

## 2 结果

### 2.1 不同光照条件下冬小麦生育期比较

实际观测本次试验中冬小麦生育期的起止日期见表 1。在 3 月 23 日对各小区遮荫处理后,遮荫处理对冬小麦生育期的起止时间造成了一定的推迟现象,并且对越靠后的生育期日期上的推迟现象更为明显。随着光照强度的减小,生育期起始日期逐步推迟,且随着冬小麦的生长逐渐呈现出递增的趋势。在成熟期,L81.3、L57.9、L43.6 和 L27.8 处理的起始日期相比于 CK 处理分别延迟了 3、7、13、18 天。

### 2.2 不同光照条件对冬小麦株高的影响

冬小麦的株高在不同光照条件下增长过程有所不同,采用生长函数(Logistic)模拟冬小麦的株高随生长天数的变化。拟合以 3 月 14 日测量结果为起点,拟合过程见图 1,拟合参数值见表 2。

表 1 遮荫后冬小麦各主要生育阶段起止日期

Tab.1 Main growth stages dates of winter wheat under shading treatments

试验处理	生育期/(.月.日)					
	拔节期	孕穗期	抽穗期	扬花灌浆期	乳熟期	成熟期
CK	3.23	4.20	4.90	4.18	5.30	5.13
L81.3	3.23	4.30	4.11	4.20	5.50	5.16
L57.9	3.24	4.60	4.14	4.22	5.70	5.20
L43.6	3.24	4.10	4.18	4.27	5.13	5.26
L27.8	3.25	4.12	4.21	5.10	5.17	5.31

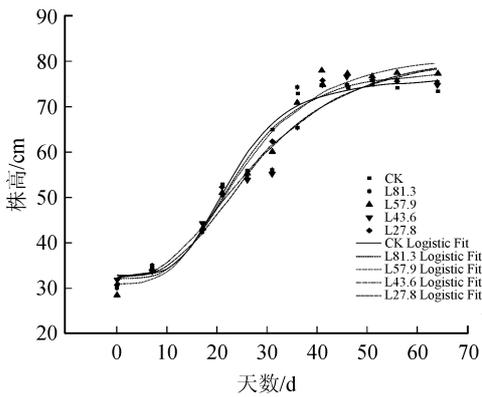


图 1 各遮荫处理下株高比较和拟合图  
Fig.1 Plant height comparison and fitting map under shading treatments

从图 1 可以看出,遮荫后不同处理间株高差异逐渐显示出,不同处理间株高的差异在拔节期至抽穗期期间较为明显,可以看出 CK 处理高于其他遮荫处理(L81.3、L57.9、L43.6、L27.8),且随着光照强度的减小,株高逐渐减小;而在抽穗期结束后,各处理下的株高差异性逐渐减小。自 41 天后,各处理下的株高变化趋于平缓。

从表 2 可以看出,各处理下的曲线拟合相关性系数均达到 0.96 以上,有着较好的拟合。各处理下  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $x_0$  和  $p$  四项参数有所不同但在一定的范围内,利用本次试验结果和 Logistic 曲线预测不同遮荫条件下冬小麦株高值有着较好的实用性。

表 2 各处理下拟合参数值

Tab.2 Fitting parameter values under each treatment

模型	Logistic					
公式	$y = A_2 + (A_1 - A_2) / (1 + (x/x_0)^p)$					
处理	CK	L81.3	L57.9	L43.6	L27.8	
$A_1$	32.848	32.155	30.985	32.414	32.565	
$A_2$	76.415	78.341	82.493	83.589	82.499	
$x_0$	22.982	24.033	25.352	27.766	27.779	
$p$	3.967	3.648	3.121	2.626	2.903	
$R^2$	0.984	0.980	0.979	0.968	0.964	

对参数  $p$  随光照强度的变化进行拟合分析见图 2,拟合函数为式(1)。可以看出随着光照强度的增加参数  $p$  逐渐增加,采用线性拟合得出相关性系数达到 0.86 以上,考虑本试验为大田试验,有许多不可控因素,因此可以对参数  $p$  运用拟合函数进行估值。

$$y = 0.0176x + 2.1598, \quad R^2 = 0.863 \quad (1)$$

对 4 月 24 日后冬小麦株高的多次测量结果进行方差分析见图 3。L57.9 处理显著高于其他遮荫处理(CK、L81.3、L43.6、L27.8),并且 L43.6 和 L27.8 处理显著高于 CK 处理。随着光照强度的减小,株高最终没有形成较为明显的规律性,但不同遮

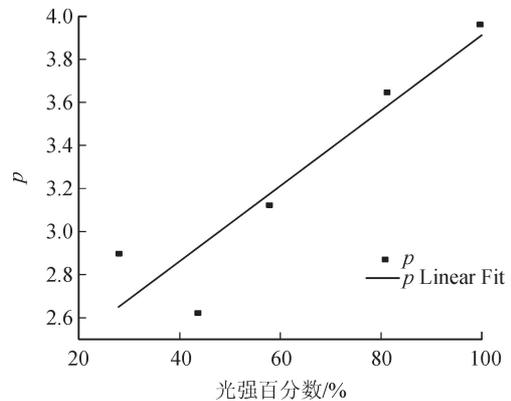


图 2 参数  $p$  随光照强度拟合图  
Fig.2 Fitting chart of parameter  $p$  with illumination intensity

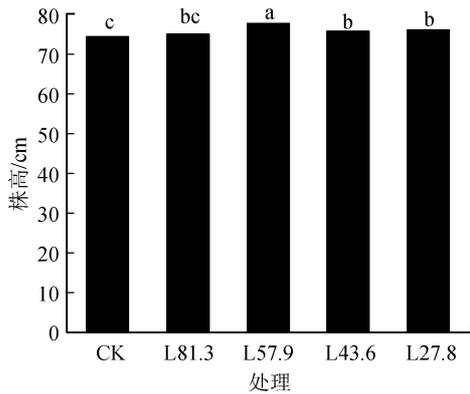


图3 各处理下最终株高差异比较

Fig. 3 Comparison of final plant height differences under different treatments

注:小写字母表示处理间差异达5%显著水平,下同。

荫条件对最终株高具有促进作用。分析其原因是本次大田试验所选取冬小麦品种为“西农979”,该品种本身株型紧凑,株高属于中等水平。

### 2.3 不同光照条件对冬小麦叶面积的影响

不同遮荫处理对冬小麦叶面积的影响有所不同,叶面积随生长天数的变化基本上呈现出先增加后减小的趋势,采用 Gauss 函数模拟冬小麦的叶面积随生长天数的变化,拟合以3月14日测量结果为起点,拟合过程见图4,拟合参数值见表3。

从图4可以看出,对试验处理进行遮荫处理后,各处理间的叶面积差异逐渐表现出来,并且CK处理下的叶面积整体低于其它各遮荫处理,随着光照强度减小,叶面积增加,叶面积增加阶段的差异性逐渐增大,减少阶段的差异性逐渐减小。叶面积在某个时段内达到最大,各处理间峰值有所推迟并呈现出一定的差异,CK处理于4月9日前后达到峰值,峰值为130.9cm<sup>2</sup>;而其它各遮荫处理于4月14

日前后达到峰值,L81.3、L57.9、L43.6、L27.8处理的峰值分别为:139.7 cm<sup>2</sup>、143.7 cm<sup>2</sup>、144.7 cm<sup>2</sup>、154.2 cm<sup>2</sup>,各遮荫处理下叶面积的峰值相较于CK处理下分别增长了6.7%、9.8%、10.5%、17.8%,这可能是由于遮荫对冬小麦生育期推后影响的结果。

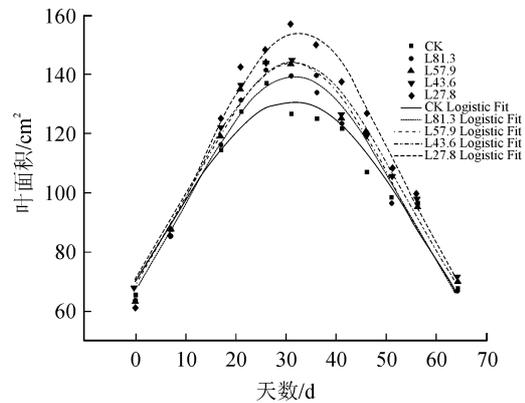


图4 不同光照条件下叶面积变化趋势和拟合图

Fig. 4 Changes of leaf area and fitting chart under different light conditions

叶面积到达峰值以后,随着冬小麦逐渐趋于成熟,接近地表附近叶片开始变黄、干枯和脱落,致使绿色叶面积逐步开始减少。叶面积减少阶段与增长阶段表现出了基本相同的趋势。由此可见,遮荫处理在一定程度上促进了冬小麦叶面积的增长,同时延缓了冬小麦叶面积的干枯与衰老,叶面积整体趋势上表现为:L27.8>L43.6>L57.9>L81.3>CK。

从表3可以看出,各处理下的曲线拟合相关性系数均达到0.95以上,有着较好的拟合。各处理下 $y_0$ 、 $x_c$ 、 $w$ 和 $A$ 四项参数有所不同但在一定的范围内,利用本次试验结果和 Gauss 曲线预测不同遮荫条件下冬小麦叶面积值有着较好的实用性。

表3 各处理下拟合参数值

Tab. 3 Fitting parameter values under each treatment

模型	Gauss				
公式	$y = y_0 + (A / (w \sqrt{\pi/2})) \exp(-2((x - x_c) / w)^2)$				
处理	CK	L81.3	L57.9	L43.6	L27.8
$y_0$	5.586	28.262	37.253	36.350	38.787
$x_c$	31.308	31.587	31.438	31.646	32.400
$w$	54.136	43.625	40.387	41.968	39.660
$A$	8 516.404	6 086.586	5 401.784	5 679.534	5 723.519
$R^2$	0.954	0.972	0.975	0.977	0.974

对各遮荫处理下叶面积的峰值相对于 CK 处理下的增加值随光照强度消减值变化做指数函数拟合见图 5,拟合函数为公式(2)。

$$y=6.1702e^{0.017x}, \quad R^2 = 0.926 \quad (2)$$

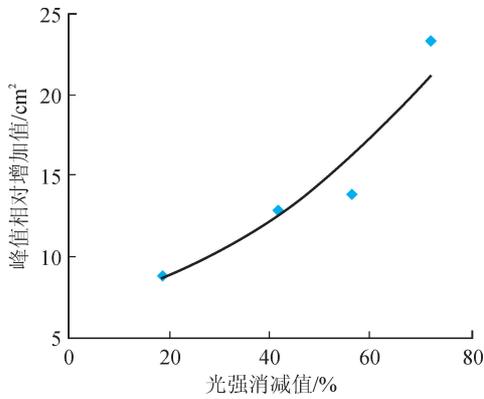


图 5 峰值相对增加值随光强消减值拟合图

Fig. 5 Fitting chart of peak relative value added with light intensity decrease

可以看出随着光强消减值的增加,峰值相对增加值也增加。拟合函数相关性系数达到 0.92 以上,运用此函数可以对峰值相对增加值进行预测。

### 2.4 不同光照条件对冬小麦穗长的影响

对各处理间的穗长进行方差分析见图 6。CK 处理冬小麦穗长显著高于其它各处理,L81.3 处理显著高于 L43.6 和 L27.8 处理。L81.3 和 L57.9 处理与 L57.9、L43.6 和 L27.8 处理之间差异不显著。结果表明,穗长随着光照强度的减小而减小,遮荫措施在一定程度上抑制了冬小麦穗长的生长,但由于抑制作用有限,光照强度降低到一定程度没有显著造成冬小麦穗长的减小。

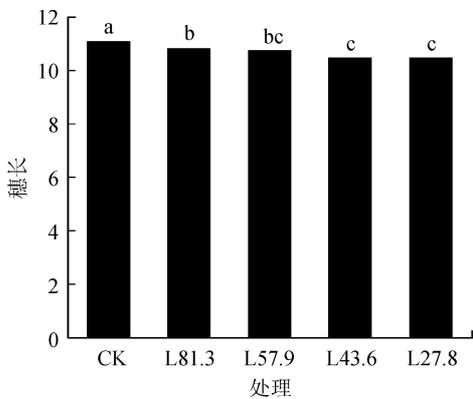


图 6 各处理下冬小麦穗长差异比较

Fig. 6 Comparison of spike lengths of winter wheat under different treatments

以光强消减值为 X 轴,冬小麦穗长为 Y 轴,采用线性函数进行拟合,见图 7。线性拟合相关性系

数达到 0.91,有较好的拟合,可以采用此方程预测不同遮荫条件下冬小麦穗长。

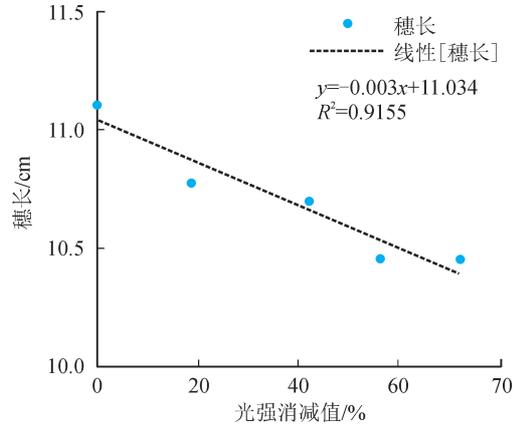


图 7 穗长随光强消减值拟合图

Fig. 7 Fitting chart of spike lengths decreasing with light intensity

### 3 结论

1) 不同遮荫条件对冬小麦的生长形态造成了不同程度的影响。随着光照强度的减小冬小麦的生育期延迟越长并对越后的生育期越严重,这种情况可能影响本地的复种指数。冬小麦穗长随着光照强度的减小而相应线性减小,不同遮荫处理对冬小麦最终株高没有产生显著影响。随着光照强度的减小冬小麦叶面积增大,由于冬小麦的叶面积影响着干物质的形成和耗水,所以叶面积增大和叶片延缓衰老,这都影响着冬小麦干物质的形成,也对通过遮荫进行节水的措施造成影响。L81.3 处理对冬小麦生长形态的影响较小,为后期研究提供较好的遮光度范围。

2) 对冬小麦株高随生长天数的变化采用 Logistic 曲线拟合,叶面积随生长天数的变化采用 Gauss 曲线拟合,均达到较好的拟合效果。对株高拟合参数 p 和光强百分数采用一次线性函数拟合分析,叶面积峰值相对增加值和光强消减值采用指数函数拟合分析,穗长和光强消减值采用线性函数拟合分析,都具有一定的相关性。结合实际试验和拟合函数对冬小麦各性状值进行预测,以便为后期更深入的研究提供参考值。

#### 参考文献:

[1] 冯妍. 太阳辐射减弱下冬小麦生物量变化的大田试验与模拟研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2011.  
 FENG Yan. Field research of reduced solar irradiance effect on the biomass of winter wheat and its modeling simulation[D]. Nanjing: Nanjing University of Informa-

- tion Science & Technology, 2011.
- [2] 麦博儒. 太阳辐射减弱对冬小麦生理生化及产量的影响研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2011.  
MEI Boru. Effects of reduced solar irradiance on the physiobiological characteristics and yield of winter wheat[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2011.
- [3] 陆昱,丁宇辉,蔡沈林,等. 太阳辐射减弱对冬小麦生长发育及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(4): 143-145.  
LU Yu, DING Yuhui, CAI Shenlin, et al. Effect of weaker solar radiation on the growth and yield of winter wheat[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(4): 143-145.
- [4] 王一,张霞,杨文钰,等. 不同生育时期遮荫对大豆叶片光合和叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(11): 2072-2081.  
WANG Yi, ZHANG Xia, YANG Wenyu, et al. Effect of shading on soybean leaf photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics at different growth stages[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(11): 2072-2081.
- [5] 杨东,段留生,谢华安,等. 不同生育期弱光对超级稻Ⅱ优航2号产量及品质的影响[J]. 福建农业学报, 2013, 28(2): 107-112.  
YANG Dong, DUAN Liusheng, XIE Huaan, et al. Effect of light deficiency during different growth stages on grain yield and quality of super-hybrid rice, II Youhang 2 [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2013, 28(2), 107-112.
- [6] 潘福霞,李小坤,鲁剑巍,等. 遮荫对不同品种紫云英生长及物质养分积累的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011, (5): 69-75.  
PAN Fuxia, LI Xiaokun, LU Jianwei, et al. Effects of shading on the growth and nutrient accumulation of different varieties of Chinese milk vetch[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2011, (5): 69-75.
- [7] 刘国顺,乔新荣,王芳,等. 光照强度对烤烟光合特性及其生长和品质的影响[J]. 西北植物学报, 2007, (9): 1833-1837.  
LIU Guoshun, QIAO Xinrong, WANG Fang, et al. Effects of light intensity on photosynthetic capabilities, growth and quality of flue-cured tobacco[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, (9): 1833-1837.
- [8] 时向东,文志强,刘艳芳,等. 不同光强对作物生长影响的研究综述[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(17): 4216-4218.  
SHI Xiangdong, WEN Zhiqiang, LIU Yanfang, et al. Research on the effect of different light stresses on crop growth[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2006, 34(17): 4216-4218.
- [9] 李东科. 控光对冬小麦耗水规律及生长特性的影响研究[D]. 西安:西安理工大学,2017.  
LI Dongke. Effects of light control on water consumption pattern and growth characteristics of winter wheat [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2017.
- [10] 曹勇. 不同控光与灌水量条件对玉米生长特性与耗水规律的影响研究[D]. 西安:西安理工大学,2018.  
CAO Yong. Effects of different light control and irrigation amount on growth characteristics and water consumption rule of Maize[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2018.

(责任编辑 王绪迪)