

遮光对谷子植株农艺性状及干物质质量的影响

刘鑫, 田岗, 王玉文, 刘永忠, 李会霞*, 余爱丽, 成锴, 王振华, 刘红, 李万星, 曹晋军, 张鹏

(山西农业大学谷子研究所, 山西 长治 046011)

摘要: 了解谷子植株对遮光的响应, 为黄土高原低洼地带及林粮间作模式中的谷子种植提供理论数据, 本研究以谷子品种长生 13 为试验材料, 研究其在 4 种光照强度 (遮光度分别为 0%、9%、17% 和 34%) 条件下的农艺性状、产量、干物质质量、旗叶相对叶绿素含量及顶三叶叶面积变化情况。结果表明: 随着遮光度的增加, 穗粗、穗重和产量均逐渐减小, 株高和千粒重差异不显著; 在成熟期单株干物质质量和谷穗干物质质量随着遮光度的增加而减小, 根、茎、叶干物质总量与之相反; 随着遮光度的增加, 旗叶相对叶绿素含量 (SPAD 值) 降低, 顶三叶叶面积逐渐变大。说明遮光处理显著降低了谷子谷穗的干物质质量和产量, 且两者均随着遮光程度的增加而降低; 遮光处理还会降低谷子旗叶的相对叶绿素含量, 增大谷子顶三叶叶面积。

关键词: 谷子; 光照强度; 干物质质量; 农艺性状; 产量性状; 叶绿素含量

中图分类号: S515

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)03-0010-05

Effects of Shading on Agronomic Characters and Dry Matter Quality of Millet Plants

LIU Xin, TIAN Gang, WANG Yuwen, LIU Yongzhong, LI Huixia*, YU Aili, CHENG Kai, WANG Zhenhua, LIU Hong, LI Wanxing, CAO Jinjun, ZHANG Peng

(Millet Research Institute, Shanxi Agricultural University, Changzhi 046011, China)

Abstract: To understand the response of millet plants to shading and to provide theoretical basis for millet planting in low-lying areas of the Loess Plateau and forest-grain intercropping models. The study used the millet variety Changsheng 13 as the experimental material to investigate its agronomic traits, yield, dry matter content, relative chlorophyll content in flag leaves, and changes in the leaf area of the top three leaves under four light intensity conditions (with shading rates of 0%, 9%, 17% and 34%). The results revealed that ear thickness, ear weight, and yield progressively decreased as shading increased, with no significant variation observed in plant height and thousand-grain weight. At the maturity stage, the dry matter mass of individual plants and the dry matter of grain ears decreased with increasing shading, whereas the total dry matter of roots, stems, and leaves followed an inverse pattern. The relative chlorophyll content (SPAD) of millet flag leaves also decreased with the increase of shading. With the increase of shading, the leaf area of the top three leaves of millet would gradually increase. The shading treatment significantly reduced the dry matter quality of millet ears and yield which were decreased with the increase of the shading. Shading treatment would also reduce the relative chlorophyll content of millet flag leaves; and shading treatment made the area of the top three leaves of millet apex moderately larger.

Key words: *Setaria italica*; Light intensity; Dry matter quality; Agronomic character; Yield trait; Chlorophyll content

收稿日期: 2020-07-09

基金项目: 山西农业大学生物育种工程项目 (YZGC027); 中央引导地方科技发展资金项目 (YDZJSX2022A048、YDZJSX2021C015); 山西省重点研发计划项目 (202102140601003、2022ZDYF107)

作者简介: 刘鑫 (1984-), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事谷子杂交育种研究。

通讯作者: 李会霞, 女, 硕士, 研究员, E-mail: nkygzslhx@163.com

谷子(*Setaria italica*)起源于中国,已有数千年的种植历史^[1],是一种具有较强抗旱性和耐贫瘠性的环境友好型植物,在我国北方干旱和半干旱土地作物区广泛种植^[2]。同时,谷子也是山西省农业供给侧结构改革、调整种植产业结构和大力发展优势杂粮的重点项目之一^[3]。山西省沟壑纵横,在低洼地带种植的谷子会被部分遮挡光照。加之近些年在农业生产的过程中,种植农作物多样化以及恶劣气候等不利条件都会造成光照强度大幅度下降^[4]。生产实践证明,林粮间作具有良好的生态效益,能够充分利用光、热、水、肥等资源。谷子以其较强的抗旱性和耐贫瘠性而成为林粮间作的优选作物之一^[2],而林粮间作势必会对部分谷子植株生长造成遮光影响,因此光照成为林粮间作模式下谷子生长的主要限制因素。光是农作物生长发育的必要条件,光照强度对其植株的生长过程及经济产量均有重要影响^[5]。目前,遮光对农作物影响的研究主要集中在玉米^[6-7]、水稻^[8]、小麦^[9]、大豆^[10]等作物上,对谷子的相关研究较少。古世禄等^[11]研究发现,遮光增加了秕谷率;杜占池等^[12]研究认为,遮光降低了谷子的光合速率和产量;时丽冉等^[2]对谷子遮光时的叶绿素荧光特性研究结果表明,随遮光率升高,叶绿素含量、净光合速率、叶面积、产量均呈现先升后降的趋势。目前遮光对谷子的农艺性状变化情况、各生育期干物质量积累及分配情况的研究报道较少,对其顶三叶叶面积的影响尚未见报道,对叶绿素变化情况还存在争议。本研究设置了4种不同程度的遮光处理,研究遮光对拔节期以后的各生育期谷子植株干物质量及农艺性状的影响,并测定了旗叶的相对叶绿素含量及灌浆期顶三叶的叶面积,期望试验结果能为黄土高原低洼地带及林粮间作模式中的谷子种植提供理论数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及试验田概况

2017年4月至10月在山西省农业科学院谷子研究所(山西省长治市)试验田内进行遮阳试验,海拔923 m(113°08'24.77"E,36°12'47.28"N),试验田土壤为石灰质褐土。4月旋耕田地、施肥及备种,5月中旬播种,10月收获。试验材料为谷子品种长生13,密度为45万株/hm²;田间管理同生产田。

1.2 试验设计

谷子幼苗在正常光照条件下生长,待进入拔节期(播种后50 d左右)用黑色遮阳网人工模拟

不同光照强度,设T₁(正常自然光照,CK)、T₂(遮光度9%)、T₃(遮光度17%)、T₄(遮光度34%)4个处理,用手持式光度计测量遮光度。试验采用随机区组设计,每个处理种植面积为5 m×8 m,3次重复,行距35 cm,株距5~7 cm。

1.3 测定内容与方法

1.3.1 干物质量的测定

各处理分别于幼苗期、拔节期、抽穗期、灌浆期和完熟期取样。每小区取10株有代表性的植株,在取样前测量样株自然株高,取样于105℃烘箱杀青30 min后再以80℃烘干至恒重称重,然后分别称根、叶、叶鞘、茎秆和穗的干物质重量并进行相关计算。

1.3.2 SPAD值测定

采用日本产叶绿素测定仪SPAD-502测定谷子旗叶相对叶绿素含量(SPAD值)。测定时间是在谷子开花后,每7 d测定1次,每处理测定10株(为减少误差每个植株旗叶叶片取不同部位测定5次取均值),取其均值作为各处理SPAD值。

1.3.3 农艺性状调查与小区测产

待谷子完熟后对株高、穗长、穗粗、穗重、结实率和千粒重等性状进行调查;调查各小区产量并根据小区面积计算每公顷产量。选收10穗谷穗,用数粒仪计数每穗的秕谷数和饱满谷数并计算结实率,计算方法如下:

$$\text{结实率} = [\text{饱满谷数} / (\text{秕谷数} + \text{饱满谷数})] \times 100\%$$

1.3.4 顶三叶叶面积测定

用叶面积仪测定谷子顶三叶叶面积,每个处理随机取样10株,分别测定其旗叶、倒二叶、倒三叶的叶面积,取其均值作为各处理旗叶、倒二叶、倒三叶叶面积。

1.4 数据处理

运用Excel 2019进行数据分析和作图,运用SPSS 19进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同遮光处理谷子的农艺性状

由表1可知,株高T₁处理略大一些,但与其他处理差异不显著;推断在遮光不严重的条件下,对株高影响不大。穗粗随着遮光程度的加大逐渐减小,T₁处理与T₄处理的穗粗差异显著,T₂处理和T₃处理与其他各处理差异不显著。结实率T₁处理最大并且与其他处理差异显著,其余各处理间差异不显著。千粒重各处理间差异不显著。穗重与产量大小顺序均为:T₁>T₂>T₃>T₄,各处理间均有显

表1 不同遮光处理对谷子农艺性状的影响

处理	株高(cm)	穗粗(cm)	穗重(g)	结实率(%)	千粒重(g)	产量(kg/hm ²)
T ₁	134.34±3.29a	3.06±0.54a	30.56±5.24a	74.45±9.66a	2.64±0.34a	6251.70±406.65a
T ₂	131.21±4.71a	2.96±0.43ab	28.57±3.77b	66.83±5.22b	2.65±0.26a	5514.75±327.45b
T ₃	133.77±3.37a	2.94±0.27ab	24.61±3.24c	64.73±7.38b	2.66±0.17a	5065.65±296.70c
T ₄	132.56±6.15a	2.79±0.41b	21.83±2.81d	66.71±8.33b	2.61±0.19a	4534.50±273.61d

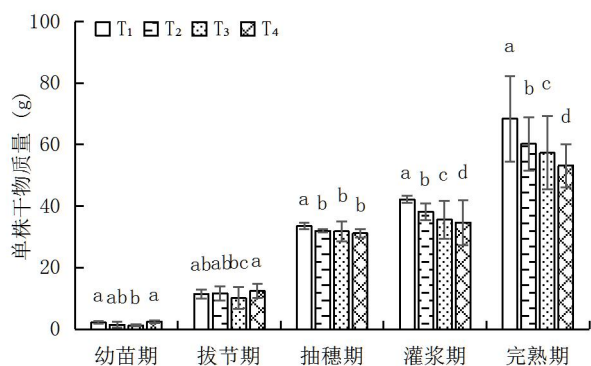
注:同列小写字母不同表示处理间差异显著($P<0.05$)

著差异($P<0.05$),并且穗重与产量呈显著正相关。

2.2 不同遮光处理干物质质量变化情况

2.2.1 单株干物质质量

由图1可知,单株干物质质量在幼苗期有所差异,此时尚未开始遮光处理,推测是由于试验田土壤水肥不均匀造成的生长差异。试验从拔节期开始遮光处理,此期T₃处理的单株干物质质量最小,T₄处理的最大,这与幼苗期干物质积累有很大关系。在抽穗期,T₁处理单株干物质质量最大,并且与其他各组均差异显著;T₂、T₃和T₄处理间差异不显著。不同遮光处理到了谷子生育后期表现出处理间显著的差异性,灌浆期仍然是T₁处理的单株干物质质量最大,T₄处理的单株干物质质量最小,各处理间的差异均达到显著水平;完熟期仍是T₁处理的单株干物质质量最大,各组单株干物质质量大小顺序为:T₁>T₂>T₃>T₄,同各处理的产量顺序一致,并且各处理间的差异均达到显著水平。各处理单株干物质质量在前期(幼苗期、拔节期)处理间差异较小,处理间的差异性没有明显趋势;后期(灌浆期、完熟期)处理间的差异明显变大,且均呈现出随着遮光度的增加而降低的趋势。



注:同一生育期内小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同

图1 不同遮光处理对单株干物质质量的影响

2.2.2 根、茎、叶干物质质量

根、茎、叶干物质总量在各时期变化情况见图2。幼苗期的根、茎、叶干物质总量和单株干物质质量幼苗期大小情况基本一致。试验从拔节期开始遮光处理,T₃处理根、茎、叶干物质总量最小,与其

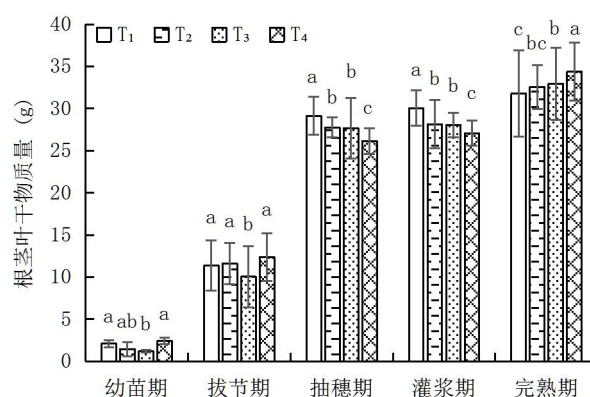


图2 不同遮光处理对根茎叶干物质质量的影响

他处理差异显著,这应该这是由于在拔节期单株干物质质量有差别造成的。到抽穗期根、茎、叶干物质总量T₁处理最大,并且与其他处理差异显著;T₂和T₃处理间差异不显著;T₄处理最小,同样与其他处理差异显著。灌浆期根、茎、叶干物质总量同样是T₁最大且与其他处理差异显著;T₂和T₃处理间差异不显著;T₄处理最小且与其他处理差异显著。到了完熟期与其他几个生育期不同,T₁处理根、茎、叶干物质总量变为最小(31.78 ± 5.09)g;T₂处理小于T₃和T₄,但仅与T₄处理差异显著;T₃处理仅小于T₄处理,并且与T₁和T₄差异显著;T₄处理最大(34.38 ± 3.46)g并且与其他处理差异显著,推测是由于光照对谷子根、茎、叶中的营养物质转化至谷穗的过程有较大影响;光照不足降低了植株根、茎、叶的营养转化效率,使T₄处理根、茎、叶干物质总量最大。

2.2.3 谷穗干物质质量

由图3可知,各遮光处理的谷穗干物质质量在抽穗期时变化不大,差异不显著。灌浆期T₁处理的谷穗干物质质量最大且与其他处理差异显著;T₂处理的干物质质量仅次于T₁处理且与其他处理差异显著;T₃和T₄处理之间差异不显著。完熟期T₁处理的谷穗干物质质量最大,各组处理谷穗干物质质量大小顺序为:T₁>T₂>T₃>T₄,同各处理的产量和单株干物质质量大小顺序一致,并且各处理间差异均达到显著水平。

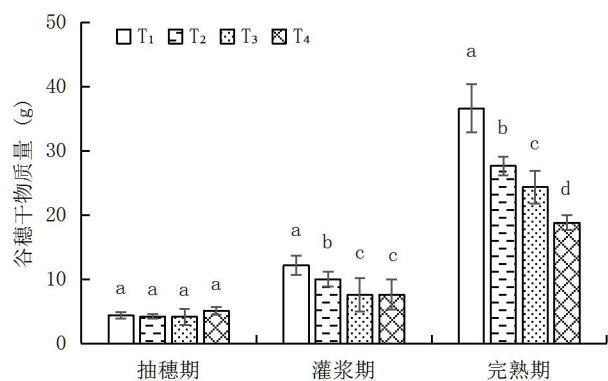


图3 不同遮光处理对谷穗干物质量的影响

2.3 不同遮光处理相对叶绿素变化情况

由图4可知,在灌浆期(8月18日至9月17日)T₁处理的相对叶绿素含量(SPAD值)明显高于其他处理,随后是T₂、T₃、T₄处理;说明遮光处理对谷子叶片的叶绿素含量有较大的影响,而且是遮光越多叶绿素含量越少。到了完熟期(9月17日以后)各处理的相对叶绿素含量变化差异减小,这是由于到了完熟期谷子叶片逐渐枯萎造成的。

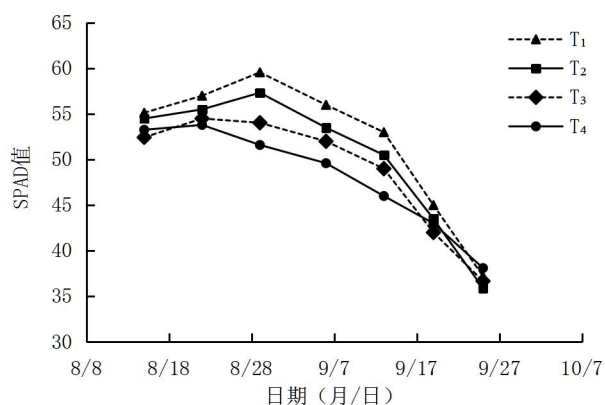


图4 不同遮光处理旗叶相对叶绿素变化情况

2.4 灌浆期旗叶叶面积变化情况

由图5可知,旗叶叶面积T₁处理最大,但各处

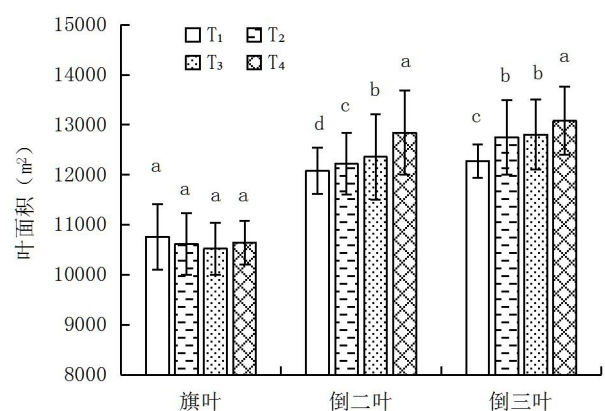


图5 不同遮光处理对谷子顶三叶叶面积的影响

理间差异不显著。倒二叶叶面积T₄处理最大,并且显著高于其他各处理;由小到大顺序为:T₁<T₂<T₃<T₄,并且各处理间的差异均达到显著水平。倒三叶叶面积仍然是T₄最大,与其他处理差异显著;T₁处理显著小于其他各处理;T₂和T₃处理间差异不显著。

3 结论与讨论

光照对植物株高的影响较大^[8],有研究表明遮光越严重株高就越低^[13]。本研究结果显示,虽然是T₁处理株高最大,但是各处理株高差异并不显著,推断在谷子拔节期开始轻度遮光处理的条件下对谷子株高的影响不大。

各遮光处理的千粒重差异并不显著;陈传永等^[14]研究认为,营养生长阶段遮光导致粒数和产量下降,而对粒重无显著影响;这与本研究结果一致。

时丽冉等^[2]研究表明,适度遮光反而有利于谷子产量的增加;本研究结果表明,随着遮光度的增加,穗粗、穗重和产量均逐渐减小,大小顺序均为:T₁>T₂>T₃>T₄;其中穗重和产量显著减小,与时丽冉等研究结果不同,这可能是由于遮光时期不同造成的。

光照强度是影响光合作用和生长发育的主要因素^[15]。研究表明,光照不足会导致农作物干物质积累量减小^[16-17],这与本研究结果一致。从拔节期开始遮光的处理(T₁处理),其单株干物质质量在抽穗期、灌浆期和完熟期均最大,并且呈现出随着遮光度的增大而减小的趋势,在灌浆期和完熟期各处理的差异均达到显著水平。

从幼苗期到灌浆期,根、茎、叶干物质总量和单株干物质质量大小变化情况基本一致。而到了完熟期,根、茎、叶干物质总量和单株干物质质量大小变化情况正好相反;T₁处理根、茎、叶干物质总量变为最小且与其他处理差异显著;而其单株干物质质量却最大且与其他处理差异显著;此时相应的谷穗干物质质量最大。推测是由于光照对谷子根、茎、叶中的营养物质转化至谷穗的过程有较大影响;光照不足降低了植株根、茎、叶的营养转化效率,这可能是造成产量降低的主要原因。

前人的研究对遮光处理如何影响农作物叶片叶绿素含量报道不一致;Bjorkman O等^[18]认为遮光条件下会增加叶绿素含量,史振声等^[19]对玉米的研究结果与其类似;也有研究认为遮光条件下大豆叶片会减小叶绿素含量^[15];而时丽冉等^[2]认

为,随着遮光度增加谷子叶片叶绿素含量呈先增后降趋势;还有更多的研究是分析遮光条件下叶绿素成分(主要是叶绿素a和叶绿素b)的变化^[20]。本研究中各处理在灌浆期,旗叶相对叶绿素含量(SPAD值)随着遮光度的增加而降低,而到了完熟期各处理的相对叶绿素含量变化差异减小,这是由于到了完熟期谷子叶片逐渐枯萎造成的。

目前尚无遮光对谷子顶三叶叶面积变化影响的研究报道,更多的研究集中在遮光对农作物叶面积指数的影响上^[14,21]。在灌浆期,旗叶叶面积以 T_1 处理最大;倒二叶叶面积 T_4 处理最大,且与其他处理差异显著;倒三叶叶面积仍然以 T_4 处理最大,且与其他处理差异显著,总体趋势为遮光会增加谷子顶三叶叶面积。推断在水肥充足的前提下,谷子营养生长所需光线不足时,会通过适当增加叶面积来应对这种弱光胁迫,这可能是谷子植株适应生态环境的方式之一,该结果与刘宝臣等^[22]的研究结果相一致。

综上所述,遮光处理对谷子品种长生13植株生长过程中的农艺性状、干物质积累及分配、叶绿素含量和叶面积都会有重要的影响。遮光处理显著降低了谷子谷穗干物质质量及产量,并且两者均是随着遮光程度的增加而降低;相对叶绿素含量(SPAD值)也是随着遮光程度的增加而降低;随着遮光度的增加谷子顶三叶叶面积会逐渐变大。由此可见,在黄土高原低洼地带或者林粮间作模式中的谷子种植,应尽量减少其遮光程度以增加产量。本研究只对单一谷子品种进行试验,今后应继续深入研究不同生态区不同谷子品种的农艺性状对遮光处理的响应,以探索光照强度对谷子不同品种的作用规律及品种间的差异性。

参考文献:

- [1] 张艾英,郭二虎,刁现民,等. 2005-2015年西北春谷中晚熟区谷子育成品种评价[J]. 中国农业科学, 2017, 50(23): 4486-4495.
- [2] 时丽冉,郝洪波,崔海英,等. 遮光对谷子光合性能及快速叶绿素荧光动力学特征的影响[J]. 作物杂志, 2019(5): 125-128.
- [3] 田岗,刘鑫,李会霞,等. 谷子各器官干物质分配与

- 产量的相关性分析[J]. 分子植物育种, 2021, 19(1): 240-247.
- [4] 巨霞,李宗仁,韩莹龙. 不同光照强度对矮秧菜豆叶片生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2019(4): 74-80.
- [5] 严晓芦,郭巧生,史红专,等. 光照强度对紫花地丁生长、生理及化学成分的影响[J]. 中国中药杂志, 2019, 44(6): 1119-1125.
- [6] 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.
- [7] 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, 40(9): 1650-1657.
- [8] 徐波,王宝祥,邢运高,等. 遮光对水稻生长发育及稻米品质的影响[J]. 热带农业工程, 2019, 43(1): 19-20.
- [9] 牟会荣,姜东,戴廷波,等. 遮光对小麦植株氮素转运及品质的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1718-1724.
- [10] 程亚娇,范元芳,湛俊旭,等. 光照强度对大豆叶片光合特性及同化物的影响[J]. 作物学报, 2018, 44(12): 1867-1874.
- [11] 古世禄,马建萍,独俊娥. 光照条件及无机营养对谷子结实的影响[J]. 华北农学报, 1989, 4(4): 17-22.
- [12] 杜占池,何妙光,杨宗贵. 遮阴对谷子和花生光合特性的影响[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1982(3): 219-226.
- [13] 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.
- [14] 陈传永,王荣焕,赵久然,等. 遮光对玉米干物质积累及产量性能的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(2): 70-75.
- [15] 张吉旺,董树亭,王空军,等. 遮荫对夏玉米产量及生长发育的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 657-662.
- [16] 任万军,杨文钰,徐精文,等. 弱光对水稻籽粒生长及品质的影响[J]. 作物学报, 2003, 29(5): 785-790.
- [17] 蔡昆争,骆世明. 不同生育期遮光对水稻生长发育和产量形成的影响[J]. 应用生态学报, 1999, 10(2): 193-196.
- [18] Bjorkman O, Holmgren P. Photosynthetic adaptation to light intensity in plants native to shaded and exposed habitats[J]. *Physiologia Plantarum*, 1966, 19(3): 854-859.
- [19] 史振声,钟雪梅,黄海蛟,等. 遮荫胁迫对不同耐阴性玉米叶绿素含量的影响[J]. 玉米科学, 2013, 21(4): 55-58, 63.
- [20] 宋晓蕾,杨红玉,曾黎琼,等. 植物遮荫效应的研究进展[J]. 北方园艺, 2009(5): 129-133.
- [21] 张吉旺,董树亭,王空军,等. 大田遮荫对夏玉米光合特性的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(2): 216-222.
- [22] 刘宝臣,唐伟斌. 遮荫对麦冬和玉簪叶面积及叶绿素含量的影响[J]. 北方园艺, 2012(14): 77-79.

(责任编辑:刘洪霞)