

史 华, 吴冰洁, 陈 爽, 等. 生物炭和保水剂用量对火鹤花叶绿素和光合特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(14): 139–142.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.14.032

# 生物炭和保水剂用量对火鹤花叶绿素和光合特性的影响

史 华, 吴冰洁, 陈 爽, 曹 兴, 吕福堂

(聊城大学农学院, 山东聊城 252059)

**摘要:**以火鹤花为研究对象,在添加不同用量的生物炭和保水剂条件下,研究火鹤花叶绿素及光合特性的动态变化。以生物炭 3 个用量 0、10%、20% 和保水剂 4 个用量 0、0.2%、0.4%、0.6% 组合成 12 个处理。结果表明:随着保水剂用量的增大,  $T_1 \sim T_4$  处理的叶绿素 a、b 含量及叶片水势呈增加趋势,  $T_9 \sim T_{12}$  处理呈下降趋势,  $T_3 \sim T_8$  处理呈先升后降趋势,类胡萝卜素含量呈逐渐下降趋势。  $T_1 \sim T_8$  处理的火鹤花叶片净光合速度 ( $P_n$ )、气孔导度 ( $G_s$ ) 呈先升后降的趋势,  $T_9 \sim T_{12}$  处理的  $P_n$  呈下降趋势,而  $G_s$  呈先升后降的趋势,且都在生物炭用量 10%、保水剂用量 0.4% 时达到最大值;  $T_1 \sim T_4$  处理的胞间  $CO_2$  浓度 ( $C_i$ ) 呈下降趋势,  $T_9 \sim T_{12}$  处理呈先升后降的趋势,  $T_3 \sim T_8$  处理呈先降后升的趋势,在生物炭用量 10%、保水剂用量 0.4% 时达到最小值;蒸腾速率 ( $T_r$ ) 呈逐渐下降趋势。生物炭用量 10%、保水剂用量 0.4% 为火鹤花生长最适用量。

**关键词:**火鹤花;生物炭;保水剂;叶绿素含量;叶片水势;光合特性

**中图分类号:**S682.390.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1002-1302(2019)14-0139-04

光合作用是植物生长最重要的生理过程之一,研究植物的光合特性是研究不同植物适应其生存环境机制的有效途径<sup>[1]</sup>。生物炭具有炭富含稳定的碳元素、具有丰富的微孔结构、含有植物生长所必需的大量元素和中微量元素等特点<sup>[2]</sup>,在农业中具有土壤改良、固碳/氮减排、缓释肥料载体及土壤修复功能<sup>[3]</sup>。保水剂是一种吸水能力极强的高分子材料,多为高吸水性树脂,具有保水、保肥、保温、改善土壤结构的功能。目前,保水剂对植物影响的研究主要集中对种子发芽、植物的生长与产量及苗木移植成活率等方面的影响<sup>[4]</sup>。

本试验以火鹤花为供试材料,主要研究在温室盆栽条件下不同用量的生物炭和保水剂对火鹤花叶片叶绿素及光合特性的影响,以期为提高火鹤花对于干旱环境的适应性及揭示生物炭和保水剂相关作用机制提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

生物炭来自于江苏南京勤丰秸秆有限公司;保水剂是由胜利油田长安控股集团有限公司制备的新型有机-无机杂化多功能保水剂,是一种独具三维网状结构的有机高分子聚合物,吸水倍率 500 倍,该产品具有高吸水、抗盐碱、改良土壤、成本低的优点。火鹤花于 2017 年 3 月进行定植,地点在聊城

江北水城花卉基地温室和聊城大学农学院综合实验室,选用试验材料为特伦沙火鹤花种苗,供试种苗长势健壮,大小均匀,平均株高为 16 cm。

### 1.2 试验设计

试验用 230 mm × 180 mm 花盆,每盆盛放基质、生物炭和保水剂共 200 g,试验基质为荷兰进口草炭。生物炭设置 0、10%、20% 3 个用量,保水剂设置 0、0.2%、0.4%、0.6% 4 个用量,每组处理重复 6 盆。试验先将草炭土与生物炭、保水剂按一定比例混合均匀,然后定植火鹤花种苗,灌溉 1 次无菌水,此后肥水管理和病虫害防治管理水平在各处理间保持一致,生物炭和保水剂不同施用量试验设计见表 1。

**表 1 生物炭和保水剂不同施用量试验设计**

处理	用量(%)		草炭土质量 (g/盆)	生物炭质量 (g/盆)	保水剂质量 (g/盆)
	生物炭	保水剂			
$T_1$	0	0	200.0	0	0
$T_2$	0	0.2	199.6	0	0.4
$T_3$	0	0.4	199.2	0	0.8
$T_4$	0	0.6	198.8	0	1.2
$T_5$	10	0	180.0	20	0
$T_6$	10	0.2	179.6	20	0.4
$T_7$	10	0.4	179.2	20	0.8
$T_8$	10	0.6	178.8	20	1.2
$T_9$	20	0	160.0	40	0
$T_{10}$	20	0.2	159.6	40	0.4
$T_{11}$	20	0.4	159.2	40	0.8
$T_{12}$	20	0.6	158.8	40	1.2

### 1.3 测定指标

在定植 3 个月后停止浇水 5 d,然后测定植株各项指标。选择新生叶片下第 3 张成熟叶片,采用 Psypso 水势仪测定植物叶片水势。选择新生叶片下面的第 4 张成熟叶,测定供试植

收稿日期:2018-03-19

基金项目:国家自然科学基金(编号:31601788)。

作者简介:史 华(1989—),女,山东枣庄人,硕士研究生,从事园林生态修复与有害生物防治研究。E-mail:1130044137@qq.com。  
通信作者:吕福堂,硕士,教授,从事植物营养及肥料与环境的教学与科研。E-mail:lvfutang@lcu.edu.cn。

株的光合作用,采用 CIRAS-2 型光合仪,光合作用测量时间为 09:00—11:30,测定叶室面积为 2 cm×3 cm,测定指标有植物叶片净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ ),测定时采用探头上的红蓝光源来提供持续且稳定的光照,设定内源光照度为 1 000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,测定时大气  $\text{CO}_2$  浓度约为 400  $\mu\text{L}/\text{L}$ 。将叶片(所有处理都取同一叶位)剪碎混匀,每处理称取约 0.2 g 叶片,采用直接浸提法,用 UV-1700 紫外分光光度计测定吸光度,以 Lichtenthaler 法计算叶绿素含量和类胡萝卜素含量。所有测定指标每组处理测 3 次。

气孔限制值( $L_s$ ) =  $(C_a - C_i)/C_a \times 100\%$ 。  
式中: $C_a$  为大气  $\text{CO}_2$  浓度; $C_i$  为胞间  $\text{CO}_2$  浓度。

根据 Penuelas 等计算水分利用效率(WUE):  $WUE = P_n/T_r$ 。

1.4 数据处理及分析

用 Excel 2003、SPSS 20.0 等软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对叶片叶绿素含量及叶片水势的影响

植物光合作用的强弱受叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 的比

值及叶绿素相对含量高低的影响<sup>[5]</sup>。叶片水势代表植物水分运输的能力,能够反映植物吸收水分的能力和水分状况。从表 2 可以看出,随着保水剂用量增加, $T_1 \sim T_4$  处理叶绿素 a、b 含量及叶片水势呈增加趋势, $T_9 \sim T_{12}$  处理呈下降趋势, $T_5 \sim T_8$  处理呈先升后降的趋势,且各处理均显著高于对照,均在  $T_7$  处理时达到最高,分别高于对照 38.03%、80.17%、67.77%,均在  $T_{12}$  处理时达到最低,分别高于对照 3.14%、16.40%、27.27%;类胡萝卜素含量呈逐渐下降趋势,均显著低于对照,在  $T_{12}$  处理时达到最低,低于对照 38.05%。

已有研究表明,生物炭在 10% 用量时为百合花生长最适浓度<sup>[6]</sup>。同等条件下随着保水剂用量的不断加大,叶绿素 a、叶绿素 b 含量在生物炭用量 10%、保水剂用量 0.4% 处理时达到最大值,显著高于对照和其他处理。在生物炭为 0 的 4 组处理中,随着保水剂用量的不断加大,叶绿素 a、叶绿素 b 含量逐渐上升,类胡萝卜素含量逐渐下降;在 20% 生物炭的 4 组处理中,随着保水剂用量的不断加大,叶绿素 a、叶绿素 b 含量相比对照的增长率则逐渐下降,分别增长 18.78%、9.20%、3.86%、3.14% 和 50.98%、42.86%、28.99%、16.40%,表明高用量生物炭和保水剂不利于火鹤花光合作用增强,相关机制还有待进一步研究阐明。

表 2 不同处理对叶片叶绿素含量和叶片水势的影响

处理	叶绿素 a 含量 ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	叶绿素 b 含量 ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	类胡萝卜素含量 ( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	叶片水势 (MPa)
$T_1$	550.34±6.03f	201.20±4.36h	109.92±4.07a	-1.21±0.02g
$T_2$	566.88±5.57e	233.73±5.51g	104.83±4.90a	-0.97±0.03f
$T_3$	573.86±7.00e	277.70±4.00e	103.59±1.87b	-0.88±0.03e
$T_4$	600.94±8.33d	283.63±5.03de	95.13±2.89b	-0.77±0.02d
$T_5$	665.41±6.93c	291.83±4.51d	93.60±2.65bc	-0.63±0.05c
$T_6$	705.65±5.13b	333.20±4.58b	90.30±4.36cd	-0.54±0.03b
$T_7$	759.65±2.85a	362.50±4.00a	84.90±1.73de	-0.39±0.03a
$T_8$	706.47±4.73b	330.01±1.00b	80.90±4.36ef	-0.44±0.04a
$T_9$	653.68±4.93c	303.77±4.16c	76.60±1.00fg	-0.52±0.05b
$T_{10}$	600.97±2.65d	287.43±5.03d	71.87±3.21fg	-0.61±0.05c
$T_{11}$	571.58±4.93e	259.53±1.53f	70.50±1.00g	-0.77±0.05d
$T_{12}$	567.62±1.17e	234.20±4.58g	68.10±3.61g	-0.88±0.04e

2.2 不同处理对叶片净光合速率( $P_n$ )的影响

叶片净光合速率的变化是由各种光合生理参数及环境因子共同作用引起的,不同环境因子对  $P_n$  的影响程度也各不相同<sup>[7]</sup>。

添加生物炭和保水剂后,火鹤花叶片净光合速率  $P_n$  的变化见图 1。从图 1 可以看出,在不加生物炭处理和 10% 生物炭处理中,火鹤花叶片的  $P_n$  呈先逐渐上升后下降趋势,且均在保水剂用量为 0.4% 时达到最大,分别高于对照 52.58% 和 146.13%。其中在生物炭用量 10%、保水剂用量 0.4% 处理时的  $P_n$  显著高于对照和其他处理,为火鹤花叶片净光合速率最适用量。

从生物炭 20% 处理组可以看出,过多的生物炭和保水剂,对火鹤花叶片  $P_n$  起到了抑制作用,随着保水剂用量的增加,火鹤花叶片  $P_n$  逐渐降低,在  $T_{11}$ 、 $T_{12}$  处理中  $P_n$  分别低于对照 15.16%、40.97%,其中  $T_{12}$  处理与对照差异显著。此结论与叶绿素含量变化趋势一致。

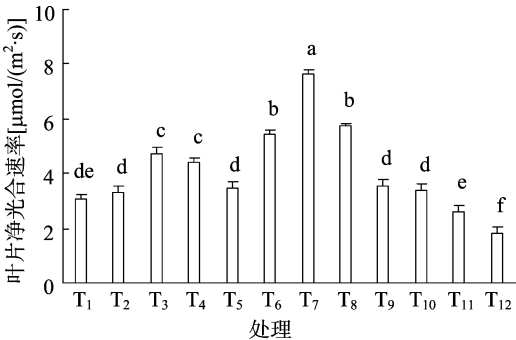


图 1 不同生物炭和保水剂用量对净光合速率的影响

2.3 不同处理对叶片气孔导度( $G_s$ )的影响

气孔导度影响植物叶片与大气  $\text{CO}_2$  和水分交换,气孔的部分关闭会导致  $\text{CO}_2$  进入叶片受阻,从而使光合下降<sup>[8]</sup>。添加生物炭和保水剂后,火鹤花叶片  $G_s$  的变化见图 2。从图 2

可以看出,在相同的生物炭用量、不同保水剂用量下,火鹤花叶片的  $G_s$  均呈先上升后下降趋势,均显著高于对照,且都在添加保水剂 0.4% 时  $T_3$ 、 $T_7$ 、 $T_{11}$  处理叶片  $G_s$  达到最大,分别高于对照 143.90%、180.35%、113.06%,表明叶片气孔导度  $G_s$  在生物炭用量 10%、保水剂用量 0.4% 处理时为最适用量,显著高于对照和其他处理,过多的生物炭(用量为 20%)和保水剂不利于火鹤花叶片  $G_s$  增加。

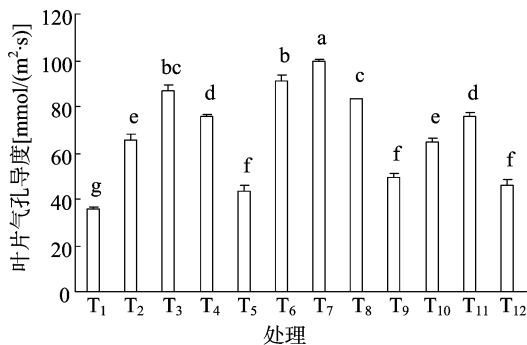


图2 不同生物炭和保水剂用量对气孔导度的影响

#### 2.4 不同处理对叶片胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )的影响

胞间  $CO_2$  浓度一般随植物光合作用的加强而下降。添加生物炭和保水剂后,火鹤花叶片胞间  $CO_2$  浓度的变化见图 3。从图 3 可以看出,随着保水剂用量的增加, $T_1 \sim T_4$  处理火鹤花叶片的  $C_i$  值呈下降趋势, $T_9 \sim T_{12}$  处理呈先升后降趋势, $T_5 \sim T_8$  处理呈先降后升的趋势。生物炭用量 10% 处理叶片的  $C_i$  值无显著差异,在生物炭用量 10%、保水剂用量 0.2% 时达到最小值。从添加生物炭 20% 处理可以看出,过多的生物炭和保水剂促进了火鹤花叶片胞间  $CO_2$  浓度增加,在生物炭用量 20%、保水剂用量 0.4% 时达到最大值,显著高于对照和其他处理,高于对照 11.61%,表明过多的生物炭和保水剂不利于火鹤花光合作用,与叶片净光合速率  $P_n$  变化结论一致。

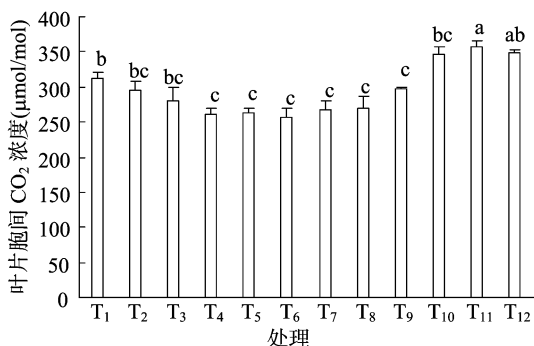


图3 不同生物炭和保水剂用量对胞间  $CO_2$  浓度的影响

#### 2.5 不同处理对叶片蒸腾速率( $T_r$ )的影响

在干旱高温条件下,植物在生理方面会打开气孔,增强叶面的蒸腾作用,通过水分的蒸腾带走热量,蒸腾速率可以反映植物体内的水分代谢情况,这是植物适应干旱的重要机制之一<sup>[9-10]</sup>。添加生物炭和保水剂后,火鹤花叶片蒸腾速率  $T_r$  的变化见图 4。从图 4 可以看出,随着生物炭和保水剂用量的增加,火鹤花叶片的  $T_r$  呈逐渐下降趋势,各处理均显著低于对照。在相同生物炭用量下,随着保水剂用量的增加,各处理

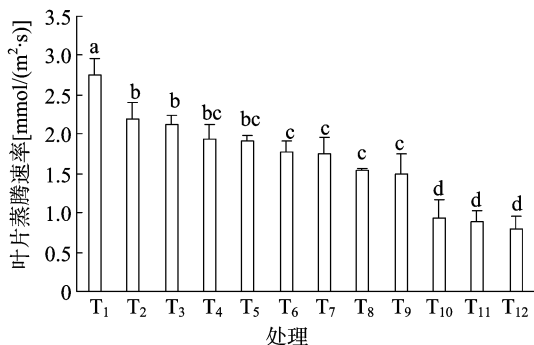


图4 不同生物炭和保水剂用量对蒸腾速率的影响

叶片  $T_r$  差异基本不显著,不同生物炭用量下,生物炭 20% 处理对火鹤花叶片蒸腾速率  $T_r$  抑制作用最大。

#### 2.6 不同处理对水分利用率(WUE)的影响

根据 Penuelas 等的方法<sup>[11]</sup> 计算水分利用效率 (WUE):  $WUE = P_n / T_r$ 。从图 5 可以看出,在生物炭用量 10%、保水剂用量 0.4% 时水分利用效率达到最高,显著高于对照和其他处理,高于对照 292.86%。表明在生物炭用量 10%、保水剂用量 0.4% 处理时效果最佳。

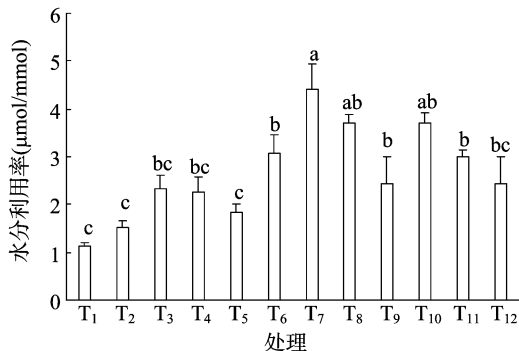


图5 不同生物炭和保水剂用量对水分利用率的影响

#### 2.7 不同处理对气孔限制值的影响

通常认为,植物在水分亏缺(或胁迫)条件下光合作用降低,其原因包括 2 个方面:(1)气孔限制,用气孔限制值  $L_s$  表示;(2)光合作用的非气孔限制。从图 6 可以看出,胞间  $CO_2$  浓度作为是否为气孔限制的判定因素,随着气孔导度下降,胞间  $CO_2$  浓度上升,可以判定为光合作用的非气孔限制。

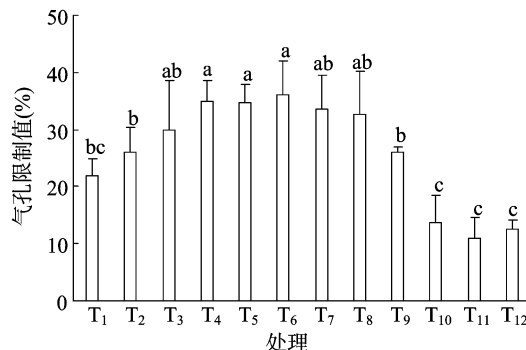


图6 不同生物炭和保水剂用量对气孔限制值的影响

### 3 结论与讨论

陈宝玉等研究干旱胁迫下 3 种不同剂型保水剂对廊坊杨的影响,结果表明,保水剂处理延缓了气孔阻力,使蒸腾速率

下降<sup>[12]</sup>。李荣喜等用保水剂和污泥、肥料等混合后组成的 6 种配方研究对油茶生长和光合特性的影响,得出保水剂处理能提高叶绿素含量、加快光合速率,促进生长的结论<sup>[13]</sup>。马行等以多年生黑麦草为研究对象,对土壤干旱条件下使用保水剂后叶片光合特性的动态变化进行分析,认为添加适宜用量保水剂后,多年生黑麦草对干旱环境的适应性增强<sup>[14]</sup>。韦兰英等深入研究紫花苜蓿和菊苣 2 种植物叶片比叶面积和光合特性对不同保水剂用量的适应能力和生理响应,认为不同植物叶片参数和光合特性对保水剂的响应并不具有一致性,植物可以根据环境条件的变化调节其形态和生理过程,以维持其正常生长<sup>[15]</sup>。虽然前人对保水剂已有较多研究,但以往研究大部分是保水剂对农作物、经济类植物如番茄<sup>[16]</sup>、辣椒<sup>[17]</sup>、马铃薯<sup>[18]</sup>、烤烟<sup>[19]</sup>、棉花<sup>[20]</sup>、蜜橘<sup>[21]</sup>等光合特性、生理特性影响的初步研究。对于生物炭和保水剂混合后对植物生长影响的研究较少,仅在少数农作物中如玉米<sup>[22]</sup>、油菜<sup>[23]</sup>上有所探索。

本研究结果显示:(1)随着保水剂用量增加, $T_1 \sim T_4$  处理叶绿素 a、b 含量及叶片水势呈增加趋势, $T_9 \sim T_{12}$  处理呈下降趋势, $T_5 \sim T_8$  处理呈先升后降的趋势。但各处理均显著高于对照;类胡萝卜素含量呈逐渐下降趋势,各处理均显著低于对照。(2)火鹤花叶片  $P_n$  呈先逐渐上升后下降趋势,在生物炭用量 10%、保水剂用量 0.4% 时达到最大,高用量生物炭和保水剂抑制火鹤花叶片  $P_n$ 。(3)在相同生物炭用量下,随着保水剂用量增加,火鹤花叶片的  $G_s$  均呈先逐渐上升后下降趋势,且都在添加保水剂 0.4% 时  $G_s$  达到最大。在生物炭用量 10%、保水剂用量 0.4% 时达到最大值,显著高于对照和其他处理,在生物炭用量 20% 时,火鹤花叶片的  $G_s$  增长率下降,表明高用量生物炭和保水剂不利于火鹤花叶片  $G_s$  增长。(4) $T_1 \sim T_4$  处理火鹤花叶片的  $C_i$  呈下降趋势, $T_9 \sim T_{12}$  处理呈上升趋势, $T_5 \sim T_8$  处理呈先降后升的趋势,表明过多的生物炭和保水剂不利于火鹤花光合作用。(5)火鹤花叶片的  $T_r$  呈逐渐下降趋势,有利于维持其体内水分平衡。(6)火鹤花 WUE 在生物炭用量 10%、保水剂用量 0.4% 处理时达到最大,各处理均好于对照。(7)火鹤花  $L_s$  为光合作用的非气孔限制。

综上所述,添加保水剂能够提高基质含水量、减少基质水分的无效蒸发<sup>[24]</sup>。水分利用效率能体现植物的抗逆境的能力。添加适量的生物炭和保水剂可以促进植株的生长发育,过量则可能产生抑制作用,无法实现施加生物炭的预期效果。本试验还存在一定不足,试验样品火鹤花品种的单一以及生物炭、保水剂用量选择的局限,因此为了更好地利用生物炭和保水剂,发挥其最大作用,应更加深入研究,以期盆栽花卉生物炭和保水剂安全合理使用提供切实的理论依据。

#### 参考文献:

- [1] 盘李军,洗杆标,陈伟光,等. 深山含笑等 18 个景观树种和光合生理特性研究[J]. 广东林业科技,2013,29(4):33-37.
- [2] 陈温福,张伟明,孟 军. 生物炭与农业环境研究回顾与展望[J]. 农业环境科学学报,2014,33(5):821-828.
- [3] 孔丝纺,姚兴成,张江勇,等. 生物质炭的特性及其应用的研究进展[J]. 生态环境学报,2015(4):716-723.
- [4] 宫丽丹,殷振华. 保水剂在农业生产上的应用研究[J]. 中国农学通报,2009,25(22):174-177.
- [5] 林 阳,王世忠. 4 种油松混交灌木树种的耐阴性研究[J]. 河北果树研究,2014(3):258-262.
- [6] 朱奕豪,朱彦霖,曹 兴,等. 生物炭对百合生理特性的影响[J]. 北方园艺,2017(7):92-98.
- [7] 高 超,闫文德,田大伦,等. 杜仲光合速率日变化及其与环境因子的关系[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(5):100-104.
- [8] 万素梅,贾志宽,杨宝平. 苜蓿光合速率日变化及其与环境因子的关系[J]. 草地学报,2009,17(1):27-31.
- [9] 吕金印,山 仑,高俊凤. 非充分灌溉及其生理基础[J]. 西北植物学报,2002,22(6):1512-1517.
- [10] Liu F, Andersen M N, Jacobsen S E, et al. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max* L. Merr.) during progressive soil drying[J]. Environmental & Experimental Botany, 2005, 54(1):33-40.
- [11] Penuelas J, Filella I, Llusia J, et al. Comparative field study of spring and summer leaf gas exchange and photobiology of the Mediterranean trees *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia* [J]. Journal of Experimental Botany, 1998, 49(319):229-238.
- [12] 陈宝玉,王洪君,曹铁华,等. 干旱胁迫下保水剂对廊坊杨苗木光合性能的影响[J]. 土壤通报,2011,42(1):163-168.
- [13] 李荣喜,胡红莲,黄永芳,等. 6 种保水剂对油茶生长和光合特性的影响[J]. 经济林研究,2012,30(4):47-51.
- [14] 马 行,刘 刊,权俊娇,等. 土壤干旱条件下保水剂对多年生黑麦草光合特性的影响[J]. 植物资源与环境学报,2013,22(4):83-88.
- [15] 韦兰英,袁维圆,焦继飞,等. 紫花苜蓿和菊苣比叶面积和光合特性对不同用量保水剂的响应[J]. 生态学报,2009,29(12):6772-6778.
- [16] 王春雨,魏 珉,董传迁,等. 保水剂不同用量对番茄穴盘苗生长及生理特性的影响[J]. 山东农业科学,2010(7):36-38.
- [17] 韩玉玲,徐 刚,高文瑞,等. 保水剂对水分胁迫下辣椒生长及光合作用的影响[J]. 西北植物学报,2012,32(6):1191-1197.
- [18] 卢会文,肖关丽,黄淋华. 不同保水剂施用方式对马铃薯生理指标及农艺性状的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学版),2012,27(3):334-339.
- [19] 赵铭钦,赵进恒,张 迪,等. 保水剂对烤烟光合特性日变化的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(6):1265-1273.
- [20] 盛 玮,池文泽. 保水剂对棉花光合作用特性的影响[J]. 棉花科学,2011,33(6):20-24.
- [21] 杨义伶,高 洁,徐回林,等. 保水剂对南丰蜜橘叶绿素含量与光合速率的影响[J]. 江西农业学报,2010,22(2):46-48.
- [22] 陈 静. 生物质炭保水剂的吸水保水性能研究及其对玉米生长的影响[D]. 南京:南京农业大学,2013.
- [23] 程红胜,沈玉君,孟海波,等. 生物炭基保水剂对土壤水分及油菜生长的影响[J]. 中国农业科技导报,2017,19(2):86-92.
- [24] 杨永辉,吴普特,武继承,等. 复水前后冬小麦光合生理特征对保水剂用量的响应[J]. 农业机械学报,2011,42(7):116-123.