

吴玲利,熊利,柯镔峰,等. 白木通的光合特性[J]. 江苏农业科学,2015,43(8):250-253.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.08.083

白木通的光合特性

吴玲利¹,熊利¹,柯镔峰¹,龚春²,雷小林²,李建安¹

(1. 中南林业科技大学经济林培育与保护教育部重点实验室,湖南长沙 410004;2. 江西省林业科学院,江西南昌 330013)

摘要:为了研究白木通光合效率及不同年龄叶片之间光合特性的差异,利用 Li-6400xt 便携式光合仪(Li-COR, USA)对其光合特性日变化、光合-光响应曲线及 CO₂ 响应曲线进行测定。结果表明:白木通二年生盆栽苗 2013 年生老叶及 2014 年生新叶的净光合速率、气孔导度的日变化均呈双峰曲线,老叶的蒸腾速率呈单峰曲线,而新叶的蒸腾速率呈双峰曲线;老叶和新叶的胞间 CO₂ 浓度在 07:00—11:00 缓慢下降,到 11:00 时最低,分别为 244.16、309.28 μmol/mol,下午又缓慢回升;水分利用效率的日变化呈不规则的 U 形变化;影响白木通叶片净光合速率主要生态生理指标的因素从大到小依次为气孔导度>胞间 CO₂ 浓度>蒸腾速率>光合有效辐射。白木通老叶和新叶的光补偿点分别为 31.11、28.54 μmol/mol,光饱和点分别为 854.17、817.32 μmol/mol,对光的适应范围较小;老叶和新叶的 CO₂ 补偿点分别为 106.54、111.63 μmol/mol,CO₂ 饱和点分别为 1 870.61、1 382.37 μmol/mol,白木通光合碳同化途径具有 C₃ 植物的特性。

关键词:白木通;叶龄;光合特性;蒸腾速率;羧化效率;日变化

中图分类号: Q945.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)08-0250-04

白木通(*Akebia trifoliata* var. *australis*)为木通科木通属的落叶或半常绿藤本植物,别称八月瓜藤,气微弱,味苦而涩,性微寒,具有清心泻火、疏肝益肾、通经散瘀、除烦利尿之功效,主要分布于江苏、浙江、江西、广西、湖南、湖北、山西、四川等地^[1-4]。目前,关于木通属植物的研究报道主要集中在油的理化特性、资源分布、外观性质的鉴定、化学成分分析及药理学研究等方面,而对木通属植物人工栽培的研究还处于起步阶段,关于光合特性与环境因子关系等方面的研究鲜有报道。光合作用是植物体内重要的生理过程及其他代谢活动的生理基础,是植物药材产量和品质形成的基础,也是评价药用植物生产能力的重要指标^[5-7]。由于其在植物进化过程中的稳定性而成为植物生理生态研究的重要内容,光合作用的日变化特征反映了植物的遗传特性和对环境中的水肥气热的适应能力,可以作为判断植物生长和抗逆性的指标^[8]。因此,本研究对白木通的二年生盆栽苗 2013 年生老叶和 2014 年生新叶的光合日变化及光合特性进行观测和分析,旨在揭示不同叶龄之间光合日变化的差异、对光的利用能力及光适应范围,为白木通立地条件选择及栽培利用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料白木通由江西省林业科学院提供,为二年生盆栽苗,试验在中南林业科技大学校内进行。

1.2 光合日变化的测定

收稿日期:2014-11-22

基金项目:国家林业公益性行业科研专项(编号:201104052)。

作者简介:吴玲利(1990—),女,湖北麻城人,硕士研究生,从事经济林栽培与育种研究。E-mail:wulingli0307@163.com。

通信作者:李建安,湖南茶陵人,博士,教授,从事经济林栽培与育种研究。E-mail:lja0731@126.com。

采用 Li-6400xt 便携式光合仪(Li-COR, USA)对光合作用日变化进行测定,测定时选取长势及颜色基本一致且无病虫害的 2013 年生老叶和 2014 年生新叶,保持叶片自然生长角度,共测定 9 株,测定老叶和新叶各 3 张/株,重复 3 次。测定时间选在 2014 年 7 月 5—7 日晴朗无风光照充足的 3 d,07:00—19:00 每隔 2 h 测定 1 次。测定的光合指标包括光合有效辐射(PAR)、气温(T)、净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)等参数。水分利用效率(WUE)=净光合速率(P_n)/蒸腾速率(T_r)。

1.3 光合-光响应曲线及 CO₂ 响应曲线的测定

光合指标测定在 2014 年 7 月 8—10 日 08:00—11:00,选取叶龄不同、长势一致的叶片,用 Li-6400xt 便携式光合仪(Li-COR, USA)测定光合-光响应曲线及 CO₂ 响应曲线;光合作用光响应曲线用 6400-LED 红蓝光源自动 light-curve 测定;CO₂ 浓度由小钢瓶提供,浓度设定为 400 μmol/mol,光合有效辐射梯度设定为 2 100、1 800、1 500、1 200、900、600、300、200、150、100、75、50、25、0 μmol/(m²·s)。光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)等光合指标根据直角双曲线修正模型进行拟合计算^[9]。光合作用 CO₂ 响应曲线测定选择 A-CI Curve 曲线测定,叶室 CO₂ 梯度设定为 400、300、200、150、100、50、400、600、800、1 000、1 200、1 500 μmol/mol,设定照度为 1 000 μmol/(m²·s),CO₂ 饱和点、补偿点等参数的拟合方法同上。

1.4 数据统计与分析

用 Excel 2007 对数据进行处理作图,用 SPSS 17.0 软件进行相关性及其差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 白木通光合特性的日变化

2.1.1 净光合速率(P_n)的日变化 照度是影响植物光合作

用的主要因素^[10]。由图 1 可知,光合有效辐射(PAR)在 13:00 时达到最高,为 $1\,438\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,之后逐渐降低。净光合速率(P_n)是植物光合作用储存碳水化合物的直接体现,它的大小直接决定着植物光合能力的强弱^[11]。由图 2 可知,白木通新叶和老叶 P_n 的日变化均呈双峰曲线,出现“光合午休”现象,两者相比,老叶的“光合午休”现象更明显。老叶和新叶的第 1 峰均出现在 09:00,其值分别为 8.73 、 $3.34\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,第 2 峰出现在 15:00,其值分别为 8.48 、 $3.22\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,17:00 以后 P_n 迅速降低,19:00 以后 P_n 接近于 0。白木通老叶和新叶的 P_n 日变化平均值分别为 6.15 、 $2.55\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其中老叶的 P_n 远高于新叶的 P_n 。

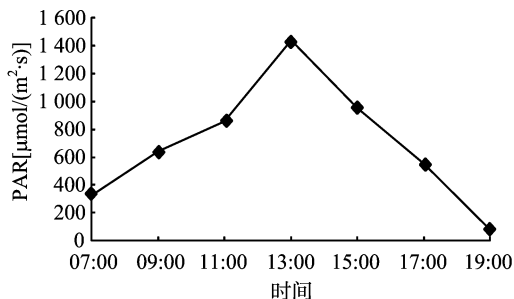


图1 光合有效辐射的日变化

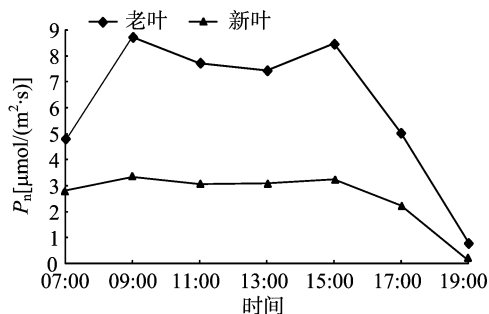


图2 白木通叶片净光合速率的日变化

2.1.2 蒸腾速率的日变化 蒸腾作用是植物生命活动的重要组成部分,它是植物吸收水分和运输矿质营养的主要动力,调节叶片温度,维持植物体内生理活动的有序进行^[12]。如图 3 所示,白木通老叶 T_r 的日变化呈单峰曲线,07:00—09:00 迅速上升,然后缓慢上升,到 15:00 达到最大,为 $3.49\ \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,15:00 以后随着 PAR 的降低迅速降低。新叶的 T_r 呈双峰曲线,第 1 峰出现在 09:00,之后有所降低,在 11:00 出现低谷,在 15:00 时达到第 2 峰,其值为 $2.93\ \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。15:00 以后白木通新叶和老叶的 T_r 随 PAR 与 T 的降低而降低,到 19:00 时 T_r 的值趋近于 0。

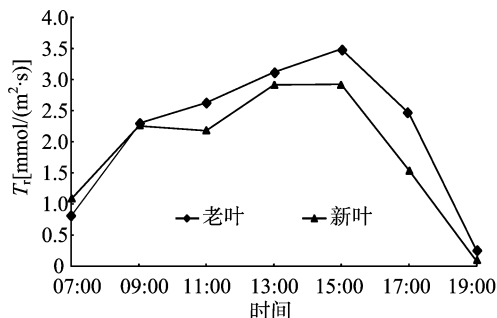


图3 白木通叶片蒸腾速率的日变化

2.1.3 气孔导度的日变化 白木通老叶和新叶的 G_s 与 P_n 的日变化呈正相关关系,两者 G_s 的日变化也呈双峰曲线,07:00 老叶和新叶的 G_s 已经处于很高的水平,且新叶的气孔导度高于老叶的气孔导度,其值分别为 0.07 、 $0.09\ \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,说明弱光对新叶气孔的诱导更明显,弱光更有利于新叶的光合作用,这也是新叶逐渐适应外界环境的一种直接体现。07:00—09:00 老叶的 G_s 迅速升高,09:00 以后 G_s 随着照度的增加有所降低。老叶和新叶 G_s 第 2 峰出现在 13:00,分别为 0.13 、 $0.11\ \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,老叶的 G_s 在 17:00 后迅速降低,而新叶的 G_s 在 15:00 后迅速降低(图 4)。

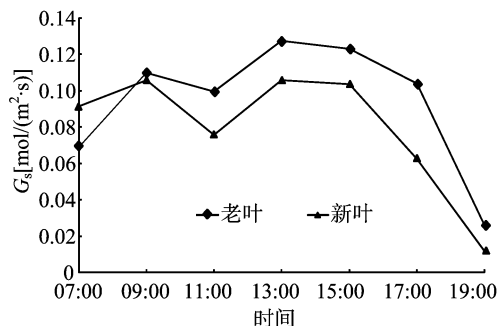
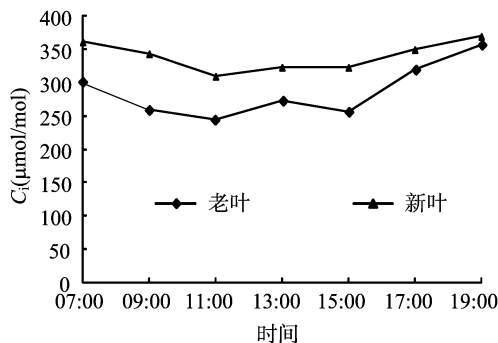


图4 白木通叶片气孔导度的日变化

2.1.4 胞间 CO_2 浓度的日变化 C_i 是外界 CO_2 气体进入叶肉细胞过程中所受各种驱动力和阻力以及叶片内部光合作用和呼吸作用最终平衡的结果^[13-14]。由图 5 可以看出,白木通老叶和新叶的 C_i 在 07:00 时较高,其值分别为 301.01 、 $361.20\ \mu\text{mol}/\text{mol}$,随着净光合速率及体内酶活性等的增大,进入叶片内的 CO_2 被羧化为碳水化合物, C_i 在 11:00 时达到最低,之后又缓慢上升;15:00 以后,随着 P_n 的降低及环境 CO_2 浓度的升高, C_i 缓慢升高。

图5 白木通叶片胞间 CO_2 浓度的日变化

2.1.5 水分利用效率的日变化 水分利用效率表明植物固定单位数量 CO_2 的耗水量,是植物利用水分的能力和抗旱性的一个重要指标,也是植物对于干旱适应的直接体现^[15-16]。由图 6 可知,白木通老叶的 WUE 远高于新叶的,老叶和新叶的 WUE 在 07:00 时最高,分别为 5.98 、 $2.60\ \mu\text{mol}/\text{mmol}$,之后随着 PAR 的升高及空气相对湿度的降低逐渐减小;老叶的 WUE 在 17:00 后迅速回升,而新叶的 WUE 在 15:00 后缓慢回升。由此可知,不同叶龄叶片对水分利用的能力不同,白木通老叶对于干旱的适应性强于新叶对于干旱的适应性。

2.1.6 白木通新叶和老叶的 P_n 与其 T_r 、 G_s 、 C_i 、WUE、PAR 的相关性分析 由表 1 可知,白木通 2013 年生老叶和 2014

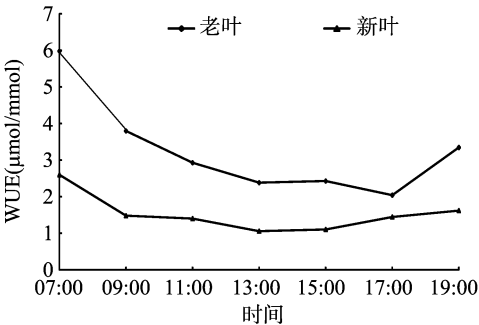


图6 白木通叶片水分利用效率的日变化

年生新叶 P_n 的日变化与其 T_r 的日变化呈显著正相关,与 G_s 的日变化呈极显著正相关,2014 年生新叶的相关系数高于 2013 年生的老叶。白木通 2013 年生老叶和 2014 年生新叶 P_n 的日变化与 PAR 的相关系数分别为 0.746、0.685,说明老叶对光的利用能力更强。2013 年生老叶和 2014 年生新叶 P_n 的日变化与 C_i 、WUE 呈负相关关系,其中 2013 年生老叶的 P_n 与 C_i 呈极显著负相关关系($P<0.01$)。相关分析结果表明,影响白木通老叶、新叶 P_n 主要生态生理指标的因素从大到小分别为 $G_s>C_i>T_r>PAR$ 、 $G_s>T_r>PAR>C_i$ 。

表 1 白木通老叶和新叶 P_n 与 T_r 、 G_s 、 C_i 、WUE、PAR 的相关系数

叶片	与 P_n 的相关系数				
	G_s	T_r	C_i	WUE	PAR
老叶	0.908 **	0.846 *	-0.956 **	-0.164	0.746
新叶	0.958 **	0.855 *	-0.683	-0.211	0.685

注: **、* 分别表示在 0.01、0.05 水平上显著相关。

表 2 白木通不同叶龄光合-光响应特征参数的差异

叶龄	最大净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	光饱和点 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	光补偿点 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	表观量子效率	暗呼吸速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
老叶	$8.82 \pm 1.25\text{a}$	$854.17 \pm 13.42\text{a}$	$31.11 \pm 2.31\text{a}$	$0.070 \pm 0.006\text{a}$	$1.89 \pm 0.11\text{a}$
新叶	$6.43 \pm 1.03\text{b}$	$817.32 \pm 16.32\text{b}$	$28.54 \pm 2.09\text{a}$	$0.060 \pm 0.005\text{a}$	$1.65 \pm 0.13\text{b}$

注:同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.3 白木通不同叶龄光合- CO_2 响应曲线的比较

羧化效率(CE)反映植物在给定条件下对 CO_2 的同化能力,它体现了植物在低浓度 CO_2 下的光合能力^[18]。由表 3 可知,白木通老叶和新叶的羧化效率较低,说明白木通在低浓度 CO_2 条件下的光合能力较弱。 CO_2 补偿点是光合作用评价植

表 3 白木通不同叶龄光合- CO_2 响应特征参数的差异

叶龄	羧化效率 [$\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	CO_2 饱和点 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	CO_2 补偿点 ($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	决定系数
老叶	$0.029 \pm 0.002\text{a}$	$1\,870.61 \pm 25.69\text{a}$	$106.54 \pm 3.25\text{a}$	$0.996 \pm 0\text{a}$
新叶	$0.024 \pm 0.001\text{a}$	$1\,382.37 \pm 36.61\text{b}$	$111.63 \pm 2.28\text{a}$	$0.996 \pm 0\text{a}$

注同表 2。

3 结论与讨论

白木通 2013 年生老叶和 2014 年生新叶 P_n 日变化的平均值分别为 6.15 、 $2.55 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,老叶及新叶的净光合速率、气孔导度的日变化均呈双峰曲线,中午有明显的“午休”现象,主要是由中午 PAR 较强使得光合生理活性降低的

2.2 白木通不同叶龄对光合-光响应曲线的影响

由图 7 可知,随着光合有效辐射的增加,白木通老叶和新叶的 P_n 先升高后降低。通过直角双曲线修正模型拟合可知,白木通老叶及新叶的光饱和点分别为 854.17 、 $817.32 \mu\text{mol}/\text{mol}$,此时,老叶和新叶的最大净光合速率分别为 8.82 、 $6.43 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。光补偿点表示植物对弱光的利用能力,白木通老叶和新叶光补偿点分别为 31.11 、 $28.54 \mu\text{mol}/\text{mol}$,说明白木通新叶更适合在弱光下进行光合作用。表观量子效率(AQY)是植物叶片光能利用效率的一个重要指标,它反映叶片对弱光的利用能力,AQY 越高,表明植物吸收和转换光能的色素蛋白复合体较多^[17]。白木通老叶和新叶的 AQY 分别为 0.070 、 0.060 ,说明白木通对弱光的利用能力较强,是较耐阴的植物。白木通新叶和老叶的暗呼吸速率分别为 1.89 、 $1.65 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,说明白木通老叶的暗呼吸速率高于新叶(表 2)。

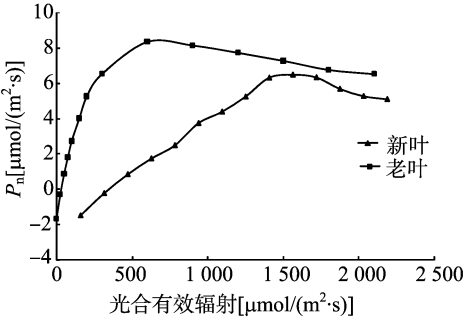


图7 白木通不同叶龄净光合速率光响应曲线

物 CO_2 同化能力的重要指标,白木通老叶和新叶的 CO_2 补偿点均较高,分别为 106.54 、 $111.63 \mu\text{mol}/\text{mol}$, CO_2 饱和点分别为 $1\,870.61$ 、 $1\,382.37 \mu\text{mol}/\text{mol}$,说明白木通老叶更适合在高浓度 CO_2 下进行光合作用。由此可知,白木通具有典型 C_3 植物的光合特性。

非气孔因素引起的^[19]。而白木通老叶的蒸腾速率呈单峰曲线,新叶的蒸腾速率呈双峰曲线。 C_i 和 WUE 的日变化呈不规则的 U 形变化;白木通老叶和新叶的光补偿点分别为 31.11 、 $28.54 \mu\text{mol}/\text{mol}$,光饱和点分别为 854.17 、 $817.32 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。植物光饱和点与光补偿点直接体现它对光能的利用能力,可用来衡量植物的需光程度,光补偿点低、

光饱和点高的植物对光环境的适应性较强^[20]。本研究结果表明,白木通具有较低的光饱和点及光补偿点,说明白木通对光的适应范围较小,更适合在照度较弱的阴坡生长。本研究通过对白木通老叶和新叶光合特性的比较发现,老叶的光饱和点高于新叶,这与老叶光合生理机构更健全、光适应范围更广有关。白木通叶片的羧化效率较低,新叶和老叶的羧化效率都在 0.03 以下,说明白木通不利于在低浓度的环境下进行光合作用。除此之外,白木通具有较高的 CO_2 饱和点和 CO_2 补偿点,说明白木通具有 C_3 植物的光合特性。

气孔的开放及大小是植物对外界环境适应性的直接体现,也是植物衰老的衡量指标之一^[21-22]。气孔是 CO_2 进入叶片的主要通道,气孔的开闭直接影响植物的净光合速率。本研究发现,气孔导度与 P_n 呈极显著正相关关系,由图 2 和图 4 发现,气孔导度在 13:00 时达到最大,随后又缓慢降低,在 15:00 时又达到最高,这与任建武等的研究结果^[23]一致。影响植物净光合速率主要有气孔因素和非气孔因素,气孔因素主要由环境中的气温、辐射强度、空气湿度的变化而引起植株气孔关闭,外界 CO_2 不能通过气孔进入叶片内部,导致光合速率降低;非气孔因素主要是在短时间内气孔扩散阻力不会限制植物的光合能力,主要是植物体内光合酶活性等减弱所致,说明气孔导度的瞬时降低对光合速率的影响较小。因此,在 13:00—15:00 时净光合速率与气孔导度并不显著正相关,说明主要是非气孔因素限制了白木通叶片的光合效率。 T_r 的大小反映植物吸收和运输能力的强弱,一定程度上反映了植物调节水分损失能力及环境适应能力^[24];与植物的 P_n 高度相关,一般认为光合速率高, T_r 也较高,因为蒸腾作用过程不仅为光合作用过程提供光合底物——水,还为光合作用过程积累物的运输提供动力^[25]。白木通老叶和新叶在 15:00 的 T_r 和 P_n 均达到了较高水平,呈显著正相关关系,这与前人的研究结果^[26-27]一致。关于 P_n 与 C_i 的关系前人研究得较多,本研究发现 P_n 与 C_i 呈负相关关系,主要是因为植物在高净光合速率的状态下,叶片内部的光合生理活性及相关酶的活性较强,通过气孔进入的 CO_2 同化较快,使得 C_i 降低,这与李朝阳等在榲桲中的研究结果^[28]一致。

本研究主要测定了白木通光合特性的日变化及净光合速率对光合有效辐射及 CO_2 的响应,同时也比较了白木通不同叶龄的光合特性差异,通过研究初步了解白木通的光合特性,为白木通的人工栽培驯化提供科学依据。本研究选取的材料为白木通的盆栽苗,对大田栽培的植株及该属植物其他物种的光合特性还须进一步研究。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 蒋 岩,杜研学,熊 华,等. 白木通籽油的理化特性及热氧化稳定性[J]. 食品科学,2011,32(15):34-38.
- [3] 高慧敏,王智民. 白木通中一个新的三萜皂苷类化合物[J]. 药学报,2006,41(9):835-839.
- [4] 柳 方. 关木通与白木通的来源与鉴别[J]. 新疆中医药,2004,

- 22(2):35-37.
- [5] 褚建民,孟 平,张劲松,等. 土壤水分胁迫对欧李幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 林业科学研究,2008,21(3):295-300.
- [6] 李 泽,谭晓风,袁 军,等. 4 个油桐品种光合特性的日变化研究[J]. 中国农学通报,2013,29(25):12-15.
- [7] 刘金花,李 佳,张永清. 黄芩植株光合特性初步研究[J]. 中草药,2009,40(6):961-964.
- [8] 刘 娟,梁军生,王健敏,等. 思茅松干季光合生理日动态及光响应特征分析[J]. 林业科学研究,2009,22(5):677-682.
- [9] 叶子飘,于 强. 光合作用光响应模型的比较[J]. 植物生态学报,2008,32(6):1356-1361.
- [10] 瞿显友,孙年喜,李隆云,等. 不同种质资源黄连净光合速率的研究[J]. 中药材,2011,34(3):336-339.
- [11] 孙 磊,章 铁,李宏开,等. 柿树光合速率日变化及其影响因子的研究[J]. 北方果树,2006(2):4-6.
- [12] 萧浪涛,王三根. 植物生理学[M]. 北京:中国农业出版社,2004.
- [13] 原向阳,郭平毅,张丽光,等. 草甘膦对大豆光合特性日变化的影响[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2010,30(6):500-504.
- [14] 范彩霞,刘桂华,周 敏,等. 3 种阔叶树幼树光合特性的比较研究[J]. 安徽农业大学学报,2010,37(2):324-327.
- [15] 罗爱花,郭贤仕,柴守玺. 水分胁迫对不同品种春小麦的水分利用率及生理指标的影响[J]. 干旱区研究,2008,25(5):683-689.
- [16] 曹生奎,冯 起,司建华,等. 植物叶片水分利用效率研究综述[J]. 生态学报,2009,29(7):3882-3892.
- [17] 朱巧玲,冷佳奕,叶庆生. 黑毛石斛和长距石斛的光合特性[J]. 植物学报,2013,48(2):151-159.
- [18] 叶子飘,高 峻. 丹参羧化效率在其 CO_2 补偿点附近的变化[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(5):160-164.
- [19] 王满莲,唐 辉,孔德鑫,等. 红根草光合特性的初步研究[J]. 中药材,2012,35(2):179-182.
- [20] 李 超,董希斌,李芝茹. 大兴安岭低质林不同皆伐改造后枯落物持水性能分析[J]. 东北林业大学学报,2012,40(4):92-96.
- [21] 高辉远,邹 琦,程炳嵩. 大豆光合日变化过程中气孔限制和非气孔限制的研究[J]. 西北植物学报,1993,13(2):96-102.
- [22] 郑国生,王 焘. 田间冬小麦叶片光合午休过程中的非气孔限制[J]. 应用生态学报,2001,12(5):799-800.
- [23] 任建武,王 雁,彭镇华. 3 种温室栽培石斛冬季光合特性研究[J]. 西北林学院学报,2009,24(1):39-43.
- [24] 高 柱,王小玲,余发新,等. 干热河谷牛角瓜光合特性[J]. 东北林业大学学报,2014,42(3):19-23.
- [25] 李 勇,韩海荣,康峰峰,等. 抚育间伐对油松人工林光合作用的影响[J]. 东北林业大学学报,2014,42(2):1-6.
- [26] 栾金花. 干旱胁迫下三江平原湿地毛茛草光合作用日变化特性研究[J]. 湿地科学,2008,6(2):223-228.
- [27] 杨江山,种培芳,常永义. 樱桃叶片的光合特性研究[J]. 甘肃农业大学学报,2006,41(4):49-51.
- [28] 李朝阳,周 羲,陈 军,等. 榲桲的光合特性与环境因子的关系[J]. 中药材,2012,35(3):347-351.