

潘 婷,李 娟,张志浩,等. 北美冬青光合作用的季节变化及其与环境因子的相关性[J]. 江苏农业科学,2019,47(6):137-140.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.030

北美冬青光合作用的季节变化及其 与环境因子的相关性

潘 婷^{1,2}, 李 娟^{1,2}, 张志浩^{1,2}, 杨玉珍²

(1. 郑州大学生命科学学院, 河南郑州 450000; 2. 郑州师范学院生命科学学院, 河南郑州 450044)

摘要:运用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400XT 便携式光合仪,对郑州地区引种的北美冬青光合动态变化进行测定。结果发现:在 4—8 月期间,北美冬青净光合速率的变化轨迹为双峰形曲线,分别在 5 月和 7 月达到峰值;气孔导度、胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率的变化均呈单峰形,其中气孔导度在 7 月达到峰值,而胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率的最大值出现在 6 月份。另外,对北美冬青各生理生态因子进行了相关性分析,结果表明,空气相对湿度与净光合速率呈极显著的正相关,而与光合有效辐射呈不显著的正相关,说明北美冬青为适于生长在阴湿生境中的一类树种。

关键词:北美冬青;光合作用;环境因子;动态变化

中图分类号: S687.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0137-04

北美冬青(*Ilex verticillata*)又称美洲冬青、轮生冬青,引自美国东北部地区,分布于潮湿生境中,适应性极强^[1-2]。北美冬青与冬青科大多数常绿树种不同,其特点是冬季落叶。落叶后,密集、亮丽的红果挂满枝头,可持续到翌年 2 月,具有极高的观赏价值。北美冬青树形美观,不易出现病虫害,在园林美化时,可在庭前、门旁种植,也可丛植在草坪或道路旁,是冬季美化环境的优良观赏树种,在欧美等地也被广泛用作园林树种^[3-4]。

光合作用是绿色植物生长发育的基本过程,包括一系列复杂的生理生化反应,研究植物光合作用的变化,有助于了解植物生长发育历程及其适应特点,理解植物对各环境条件的响应机制^[5]。植物的生长发育离不开自然界,各种环境因子对植物的生存具有十分复杂且重要的影响。环境因子在植物生长季节中总是不断地发生改变,植物对环境因子变化的响应也会随着环境的变化而不断改变。通过研究植物光合作用的动态变化及其与环境因子之间的关系,才能深入了解植物的整个生长历程和生长习性^[6]。近年来,对于北美冬青的研究大多集中于优良品种的扦插生根、引种栽培、植物组织培养与快繁技术等方面,而对其光合作用的研究较少。本研究以郑州地区引种的北美冬青 *Oosterwijk* (奥斯特维克)为材料,对净光合速率、蒸腾速率等光合特性的月变化及其与各环境因子的相关性进行研究,以了解北美冬青的生长规律,揭示适宜其生长的环境条件,从而为品种的选育、栽培以及环境美化提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于郑州师范学院黄河滩实训基地,地处 112°42'~114°14'E, 34°16'~34°58'N,属北温带大陆性季风气候,一年四季的交替明显,年平均气温 14.4℃,极端高温 43℃,极端低温 -17.9℃。7 月最热,平均气温为 27.3℃;1 月最冷,平均气温为 0.2℃。全年平均日照时数约为 2 400 h,平均降水量为 640.9 mm,无霜期为 220 d。试验地水肥条件良好,土壤为潮土。

1.2 试验材料

供试材料选自 5 年生健康北美冬青,随机选择长势一致、无病虫害的第 2 或第 3 张叶,且叶片之间相互无遮挡。

1.3 测定指标及方法

试验于 2015 年 4—8 月进行,运用 LI-6400XT 便携式光合仪测定北美冬青光合生理生态特征参数。每月选择连续晴朗、无风的天气,于 09:00—11:00 开始测定,每次测量设 8 个重复,每个重复不为同一叶片。测量过程中,待读数稳定后再读取相应数值。测定指标主要包括光合有效辐射(in-chamber PAR, PAR_i)、空气相对湿度(relative humidity, RH)、大气温度(temperature of air, T_a)、大气 CO₂ 浓度(ambient CO₂, C_a)以及净光合速率(net photosynthetic rate, P_n)、蒸腾速率(transpiration rate, T_r)、胞间 CO₂ 浓度(intercellular CO₂ concentration, C_i)、气孔导度(conductance to H₂O, G_s)。

1.4 数据处理

运用 Microsoft Excel 2003 软件进行合理取值并作图,相关性分析采用 SPSS 20.0 统计分析软件。

2 结果与分析

2.1 环境因子的动态变化

植物的光合生理特性取决于自身的遗传特性,但环境因子的变化对光合作用也有很大的影响^[7]。在自然环境下,影

收稿日期:2017-11-21

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:182102310655);郑州师范学院科技计划支持项目。

作者简介:潘 婷(1993—),女,河南南阳人,硕士研究生,研究方向为植物基因资源的可持续利用。E-mail:Lyaino8520@163.com。

通信作者:杨玉珍,博士,教授,主要从事植物生理生态研究。E-mail:zyhyang@163.com。

响光合作用的主要环境因子有光合有效辐射、空气相对湿度、大气温度和大气浓度。这些环境因子对光合作用的影响是综合的,而不是单一的。

2.1.1 光合有效辐射的动态变化 太阳是绿色植物光合作用所需能量的直接来源。植物在进行光合作用过程中能够吸收波长为 380~710 nm 的太阳辐射能,使叶绿素分子呈激发状态,这部分光谱能量就是光合有效辐射。1年中,郑州地区光合有效辐射在夏季最高,冬季最低。从图1可以看出,北美冬青生长季节中4—8月光合有效辐射的月变化曲线呈缓慢上升趋势。从4月份到8月份,随着自然界光照度不断增加, PAR_i 也缓慢增大,8月份为 $1\,027.88\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,达到这5个月的最大值。

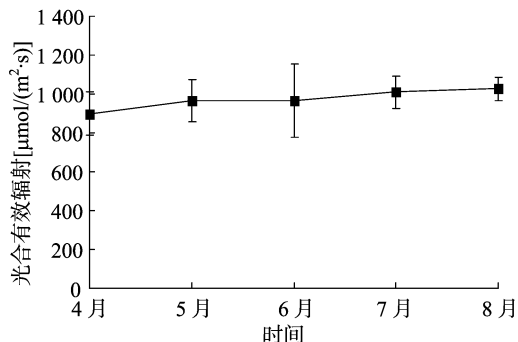


图1 光合有效辐射的动态变化

2.1.2 大气温度和大气 CO_2 浓度的动态变化 1年中,大气温度主要受光照的影响。如图2所示,北美冬青4—8月的大气温度呈逐渐上升趋势。进入春季,气温逐渐回升,4月份 T_a 为 $20\ ^\circ\text{C}$ 左右,5月份较4月份略高。5月份之后, T_a 一直上升,在7月份达到最高值,8月份较7月份略有下降。图中 C_a 呈双峰形曲线,5月份达到第1个峰值,为 $437.04\ \mu\text{mol}/\text{mol}$,之后开始下降,原因可能是绿色植物光合作用的增强,导致大气中 CO_2 含量的降低。6—7月,光照度增大,大气温度升高,高温导致植物气孔关闭,光合作用强度降低,使曲线又开始上升,7月份达到第2个峰值,到7月份之后,大气温度逐渐下降,光照度开始增加, C_a 便又下降。

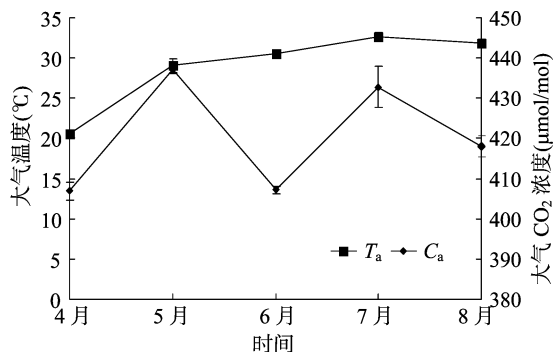


图2 大气温度和大气 CO_2 浓度的动态变化

2.1.3 空气相对湿度的动态变化 从图3可以看出,4、5、6月份的RH相差不大,到了7月份,由于温度升高,水分蒸发加快,所以空气中的水蒸气也就相应增多,使RH达到最大值,为69%左右,8月份较7月份有所下降,但显著高于4、5和6月份。

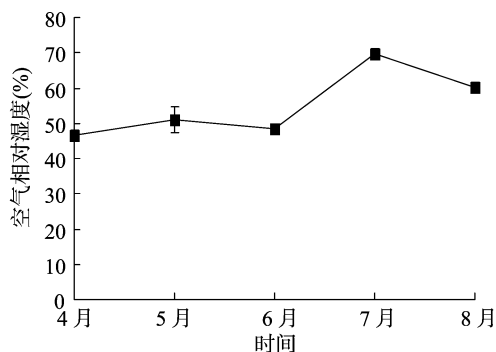


图3 空气相对湿度的动态变化

2.2 北美冬青光合作用特征参数的动态变化

光合作用的动态变化规律与自然环境和植物自身生长规律有着紧密的联系,它可以反映植物对外界环境条件的适应性^[8]。通过对光合作用特征参数的分析,可以清楚地了解植物的生长变化和生活习性。本试验研究的北美冬青光合作用特征参数主要有净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率等。

2.2.1 北美冬青净光合速率的动态变化 光合作用存在于绿色植物的生产过程中,植物光合作用不断产生有机物质,使其可以进行正常生长发育^[5]。净光合速率可以表示植物实际积累的有机物质的量。从图4可以看出,北美冬青 P_n 与 C_a 的变化大体一致, P_n 为不明显的双峰形曲线,峰值分别出现在5月和7月份。从4月份开始,随着 PAR_i 的增大, P_n 也逐渐增大,5月份达到 $7.33\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,而6月份较5月份略有下降,可能是因为RH和 C_a 的下降而使光合作用有所减弱。6月份之后,RH、 C_a 等环境因子的含量升高,再加上适宜的温度,导致 P_n 不断上升,7月份 P_n 为 $14.07\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,达到了这5个月的最大值。8月份,北美冬青叶片逐渐衰老,叶绿素合成受阻,酶活性降低,导致叶片光合作用减弱, P_n 下降。

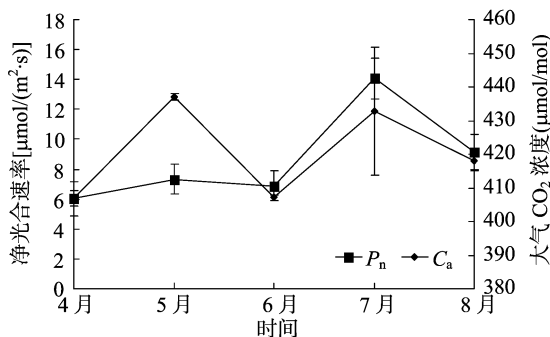


图4 净光合速率和大气 CO_2 浓度的动态变化

2.2.2 北美冬青气孔导度和胞间 CO_2 浓度的动态变化 气孔导度易受环境因子的影响^[9-11]。一般 G_s 越大,说明气孔开张越大,水分等物质进入植物体的阻力越小,植物能够正常地进行物质交换,反之,气孔开张小,对水分等的阻力较大,减少了水分的散失^[12-13]。如图5所示,4月份, G_s 为 $0.05\ \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,随着 PAR_i 、 C_a 、RH的逐渐增大, G_s 也随之增加,到7月份,达到峰值 $0.15\ \text{mol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,此时 P_n 也处于最大值。此后, T_a 下降,RH等降低,也导致 G_s 降低,相应地使 P_n 下降。

CO_2 是植物进行光合作用的必需原料,胞间 CO_2 浓度通

常与大气 CO_2 浓度、净光合速率和气孔导度有关^[14]。图 6 显示,北美冬青叶片胞间 CO_2 浓度 C_i 呈单峰形,变化趋势同 P_n 相反。4 月和 5 月份 C_i 相差不大。6 月份,由于 P_n 较小,大气中 CO_2 含量也较低,植株叶肉细胞间存在大量呼吸作用积累的 CO_2 ,使 C_i 达到峰值 294.93 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。此后,随着 P_n 的升高,叶片内固定 CO_2 的速度也随之加快,导致 C_i 逐渐下降^[15]。到 8 月份, C_i 为 221.62 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

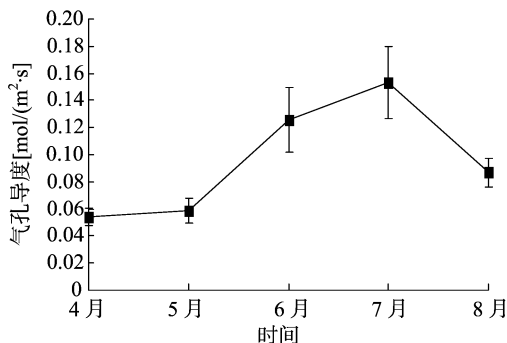


图5 气孔导度的动态变化

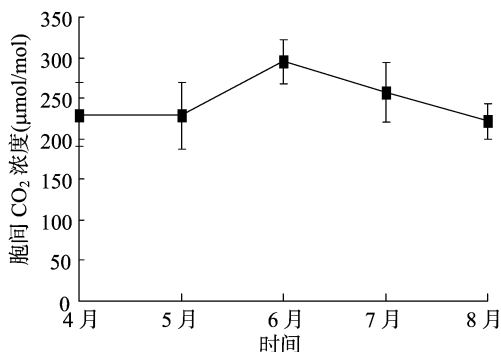


图6 胞间 CO_2 浓度的动态变化

2.2.3 北美冬青蒸腾速率的动态变化 植物的蒸腾作用伴随着矿物质的运输,提供生理活动必需的水分和 CO_2 等物质,也可以调节植物叶面的温度^[16]。蒸腾速率是研究植物水分代谢的一个重要的生理指标,由图 7 可知,北美冬青蒸腾速率 T_r 与 G_s 、 C_i 的变化趋势一致,也是单峰形曲线。4 月和 5 月份 T_r 大致相等,随着 PAR_i 和 T_a 的逐渐升高, T_r 迅速升高,在 6 月份达到峰值,此时 C_i 也达到最大值。7 月份之后,由于 P_n 、 T_a 的降低, T_r 也一直下降。

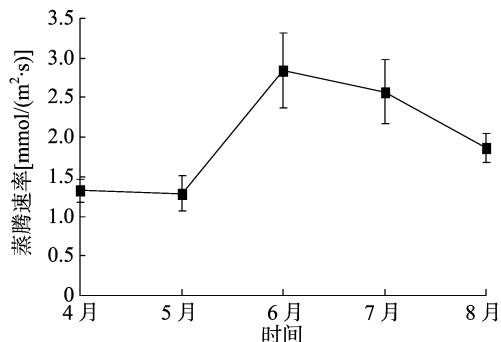


图7 蒸腾速率的动态变化

2.2.4 北美冬青水分利用效率的动态变化 水分利用效率 (WUE) 是植物叶片在光合作用过程中,消耗单位的含水量所能同化 CO_2 的量,可通过 P_n/T_r 求出^[17]。它能反映在水分不

足条件下,植物的生长适宜程度。

如图 8 所示,北美冬青水分利用效率的动态变化曲线与净光合速率的动态变化相似,变化曲线大致呈“M”形。水分利用效率的第 1 个峰值出现在 5 月份,此时既是 P_n 的最大值,也是 RH 的最大值,再加上 T_r 较低,因此 WUE 较高。此后, P_n 逐渐下降, T_r 逐渐上升,导致 WUE 急剧下降,到 6 月份下降到最低值。之后,由于 P_n 急剧升高, T_r 有小幅度的下降,所以 WUE 开始升高,到 7 月份达到第 2 个峰值。7 月份之后, P_n 和 T_r 均下降,但 P_n 的下降幅度较 T_r 大,所以 WUE 呈下降趋势。

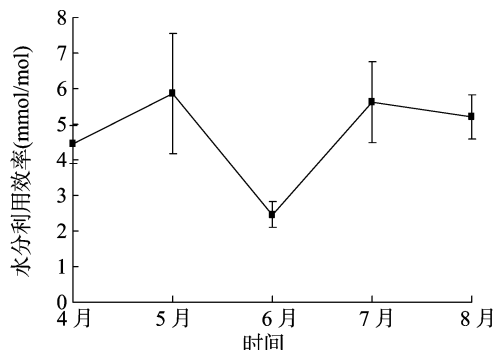


图8 水分利用效率的动态变化

2.3 北美冬青光合作用与环境因子的相关性分析

绿色植物净光合速率受到外界环境因子和自身生理因子的共同影响,这些生理生态因子不仅在光合作用过程中起着关键的作用,而且因子与因子之间也存在相互作用,植物叶片光合生理生态因子之间的复杂关系可通过相关性分析体现出来^[18]。

由表 1 的相关性分析可知,北美冬青净光合速率 P_n 与 G_s 、 T_r 以及 C_i 均呈不显著的正相关;与 PAR_i 也呈不显著的正相关,相关系数 r 为 0.009;与 RH 呈极显著的正相关 ($r = 0.746$), RH 越大, P_n 也就越大,表明 RH 对 P_n 具有决定性作用,也体现了北美冬青更宜生长在潮湿的环境中;此外, P_n 还与胞间 CO_2 浓度之间存在不显著的负相关关系 ($r = -0.036$)。北美冬青蒸腾速率 T_r 与 PAR_i 和 RH 呈负相关,相关性不显著,相关系数分别为 -0.295 、 -0.015 ;与 G_s 和 C_i 呈显著的正相关,因此 G_s 和 C_i 对 T_r 有重要影响;与其他因子呈不显著的正相关。 PAR_i 不仅提供了叶片光合作用直接利用的能量,还可以调节大气温度和空气湿度,影响气孔的开张, PAR_i 与 G_s 之间存在极显著的负相关关系 ($r = -0.462$),这是植物对高温的一种适应机制,此外, PAR_i 与 RH 和 T_a 均呈正相关^[7]。 CO_2 是叶片光合作用直接利用的原料之一,外界 CO_2 通过细胞膜进入叶肉细胞,才能被植物利用, C_i 不仅与 T_r 呈显著正相关 ($r = 0.411$),而且与 G_s 也呈显著正相关^[9]。除此之外, RH 与 T_a 呈极显著正相关 ($r = 0.767$)。

3 讨论与结论

本研究中北美冬青 4—8 月份光合特征动态变化曲线是植物自身光合生理活性与环境因子综合作用的体现,在不同月份,光合作用的强弱及环境因子的影响强度均不同,这就决定了北美冬青独特的生活习性。本试验通过对北美冬青叶片光合生理生态特性以及各生理生态因子之间的相关性分析

表 1 北美冬青光合生理生态因子的相关性分析

因子	相关系数							
	P_n	G_s	C_i	T_r	PAR_i	RH	C_a	T_a
G_s	0.145	1.000						
C_i	-0.036	0.427 *	1.000					
T_r	0.213	0.748 *	0.411 *	1.000				
PAR_i	0.009	-0.462 **	-0.389 *	-0.295	1.000			
RH	0.746 **	-0.095	-0.154	-0.015	0.320	1.000		
C_a	0.257	-0.073	0.048	0.010	0.492 **	0.365 *	1.000	
T_a	0.681 **	0.245	-0.043	0.289	0.062	0.767 **	0.041	1.000

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。

发现,影响北美冬青叶片净光合速率的主要环境因子有光合有效辐射、空气相对湿度、大气 CO₂ 浓度和大气温度,这些因子对植株的影响是综合的,并且因子与因子之间也存在相互作用^[19]。

在 4 月份,北美冬青处于生长初期,大气温度、空气相对湿度、大气 CO₂ 浓度相对较低,因此这一时期叶片的净光合速率也不高。这与吴统贵等对旱柳光合变化的结论^[6]相一致。5—7 月份,北美冬青处于生长旺盛期,在 5 月份,光合有效辐射、大气温度、空气相对湿度与 4 月份相差不多,但叶片净光合速率大于 4 月份,可能是由于大气 CO₂ 浓度的显著增加,大气 CO₂ 浓度与净光合速率之间存在正相关关系,在这一时期成为影响叶片净光合速率的主要环境因子;在 6 月份,虽然大气温度显著增加,光合有效辐射有所增大,但大气 CO₂ 浓度却显著下降,空气相对湿度也有所降低,从而造成净光合速率降低,大气 CO₂ 浓度仍然是光合作用的主要影响因子,气孔导度与蒸腾速率呈显著的正相关,蒸腾速率在该时期达到峰值;在 7 月份,大气温度、空气相对湿度、大气 CO₂ 浓度均达到峰值,各种环境条件适宜,气孔充分开张,因此叶片净光合速率达到峰值^[6]。施建敏等对毛竹的光合动态进行研究,认为毛竹的净光合速率在 5 月份和 10 月份达到最大值^[8],这与北美冬青的净光合速率变化不一致。到了 8 月份,北美冬青叶片开始衰老,由于光合有效辐射较高,而空气相对湿度较低,北美冬青为减少水分的流失,气孔部分关闭,导致气孔导度降低,CO₂ 很难进入叶肉细胞,所以胞间 CO₂ 浓度也降低,如果在这一时期改善环境中的水分状况,可以提高叶片的净光合速率^[20]。

相关性分析显示,北美冬青光合作用的各生理生态因子对净光合速率均有影响,只是不同时期各个环境因子的影响程度不同。从整体来看,空气相对湿度和大气温度与净光合速率显著正相关,其他因子对净光合速率也有影响,但影响不显著,因此,空气相对湿度与气温是影响光合作用的重要环境因子,这与北美冬青喜欢阴冷、潮湿环境的生长习性相一致。

参考文献:

[1] Dirr M A. Manual of woody landscape plants[M]. 6th ed. Stipes Pub Ltd,2009:537-541.
[2] 余有祥. 北美冬青引种栽培[J]. 中国花卉园艺,2009(10):40-41.

[3] 杨玉珍,陈刚,王国霞,等. 北美冬青的园林特性及其应用[J]. 农学学报,2015,5(4):73-76.
[4] Mauindiarts. Hollies for gardeners[M]. Portland: Timber Press, 2006:170-173.
[5] 席晓雪,田有亮,何炎红. 虎榛子光合特征变化及其与主要影响因子的关系[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2012,33(4):81-86.
[6] 吴统贵,周和锋,吴明,等. 旱柳光合作用动态及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志,2008,27(12):2056-2061.
[7] 夏尚光,张金池,梁淑英. 南方岩榆光合作用日变化及其影响因子研究[J]. 亚热带植物科学,2007,36(3):8-11,36.
[8] 施建敏,郭起荣,杨光耀. 毛竹光合动态研究[J]. 林业科学研究,2005,18(5):551-555.
[9] 马兰涛,陈双林. *Guadua amplexifolia* 光合季节动态[J]. 广西植物,2013,33(4):475-481.
[10] 肇思迪,娄运生,庞渤,等. UV-B 辐射增强下施硅对冬小麦光合特性和产量的影响[J]. 江苏农业学报,2017,33(5):1036-1043.
[11] 李琪,王清,王连喜,等. 花后遮光渍水对南京冬小麦光合特性和产量的影响[J]. 江苏农业学报,2017,33(3):555-560.
[12] 孙伟,王德利,王立,等. 模拟光条件下禾本科植物和藜科植物蒸腾特性与水分利用效率比较[J]. 生态学报,2003,23(4):814-819.
[13] 孙伟,王德利,王立,等. 狗尾草蒸腾特性与水分利用效率对模拟光辐射增强和 CO₂ 浓度升高的响应[J]. 植物生态学报,2003,27(4):448-453.
[14] 林保花,刘金祥,肖生鸿,等. 粤西乡土香根草光合生理生态特征日动态分析[J]. 应用生态学报,2006,17(11):2041-2045.
[15] 耿世洲,陈悟,崔永明,等. 苎麻光合生理生态特性研究[J]. 西北植物学报,2011,31(9):1860-1865.
[16] 马金娥,金则新,张文标,等. 青钱柳光合日进程及其与环境因子的相关分析[J]. 安徽农业科学,2007,35(16):4752-4754.
[17] 刘周莉,赵明珠,秦娇娇,等. 三种木质藤本植物光合特性比较研究[J]. 生态环境学报,2015,24(6):952-956.
[18] 刘济明,徐国瑞,廖小锋,等. 罗甸小米核桃苗木光合作用特性[J]. 西北农业学报,2012,21(3):148-152.
[19] 余叔文,汤章城. 植物生理与分子生物学[M]. 2 版. 北京:科学出版社,1998.
[20] 黄成林,赵昌恒,傅松玲,等. 安徽休宁倭竹光合生理特性的研究[J]. 安徽农业大学学报,2005,32(2):187-191.