

蒋华伟, 罗红雨, 李静会, 等. 不同光照对 2 种观赏连翘光合及叶绿素荧光参数的影响 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43(11): 246–249.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.11.075

不同光照对 2 种观赏连翘光合及叶绿素荧光参数的影响

蒋华伟¹, 罗红雨², 李静会¹, 李欣¹, 靖晶¹, 江君¹

(1. 江苏太湖地区农业科学研究所, 江苏苏州 215155; 2. 江苏三维园艺有限公司, 江苏昆山 215341)

摘要:通过人工遮阴方式, 研究 4 种照度 (100%、80%、45%、13%) 下 2 种观赏连翘 (金脉连翘、金边连翘) 的光合特性和叶绿素荧光参数的变化。结果表明, 弱光条件下, 2 种连翘的暗呼吸速率、光饱和点、光补偿点均有不同程度的降低, 最大净光合速率均在 80% 照度下达到最高, 表观量子效率均比对照升高; 在弱光条件下, 2 种连翘的叶绿素含量均有所增加, 提升对光能的吸收利用; 2 种连翘 (金脉连翘在 13% 照度下除外) 在各照度下 PS II 均能保持较高的活性, 受到光线减弱的影响较小。初步判断 2 种连翘能够适应园林弱光环境, 而在极弱光环境下, 金边连翘比金脉连翘的适应性更强。

关键词:照度; 观赏连翘; 光合特性; 叶绿素荧光参数; 适应性

中图分类号: Q945.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)11-0246-04

随着工业化、城市化的发展, 城市空气质量越来越差, 园林植物为改善城市环境质量发挥着重要作用。但是人口密集, 建设用地紧张, 城市绿地面积正不断受到压缩, 园林工作者对植物进行配置时, 在追求美观的同时最大限度地利用空间, 讲究乔、灌、草的搭配, 达到绿量最大化。因此, 照度成为许多植物配置应用的限制因子, 对植物配置中的下层植物的光照适应性研究, 可为园林植物的科学配置提供指导。

金脉连翘 (*Forsythia suspensa* ‘Goldvein’)、金边连翘 (*F. suspensa* var. *variegata*) 是连翘 (*F. suspensa*) 的 2 个园艺栽培变种, 为木犀科连翘属 (*Forsythia*) 落叶灌木, 花色金黄,

是优良的早春观花植物, 也作为观叶植物。目前, 在城市园林绿化中的应用方兴未艾, 主要作为绿篱、地被植物应用, 弱光是其生境的主要特征之一, 作为一种新兴优良园林植物, 对光照的适应性方面的研究报道较少^[1]。本试验采用盆栽人工遮阴法, 设置不同的光照梯度, 对不同光照条件下 2 种连翘的光合特性、叶绿素含量及叶绿素荧光参数等指标进行研究, 分析其对弱光环境的适应能力, 研究结果可为其园林应用和种苗培育提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于江苏太湖地区农业科学研究所试验田内进行, 土壤为沙壤土, 透气性好。本区域地处温带, 四季分明、气候温和、雨量充沛, 属北亚热带季风气候, 年均降水量 1 100 mm, 年均温 15.7 °C, 1 月均温 2.5 °C, 7 月均温 28 °C。

林果研究, 2005, 20(4): 64–66, 75.

[8] Nikolaeva M G. On criteria to use in studies of seed evolution [J]. Seed Science Research, 2004, 14(4): 315–320.

[9] Kucera B, Cohn M A, Leubner-Metzger G. Plant hormone interaction during seed dormancy release and germination [J]. Seed Science Research, 2005, (15): 281–307.

[10] 甘阳英, 宋松泉, 李绍华, 等. 葡萄属种子发育的物候、萌发行为及其对冷层积的反应 [J]. 植物学报, 2009, 44(2): 202–210.

[11] 卓小能, 林伯年, 沈德绪. 打破巨峰葡萄种子休眠及实生苗阶段发育中内源激素的研究 [J]. 果树科学, 1995, 15(2): 79–83.

[12] Hollman P H, Katan M B. Dietary flavonoids: intake, health effects and bioavailability [J]. Food and Chem Toxicol, 1999, 37(9/10): 937–942.

[13] 张艳, 宋建伟, 闫锋. GA₃ 对新鲜葡萄种子发芽影响的初步研究 [J]. 河南科技学院学报: 自然科学版, 2008, 36(3): 36–37.

收稿日期: 2014–10–31

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金 [编号: CX(12)5075]; 江苏太湖地区农业科学研究所基金 [编号: 1311]。

作者简介: 蒋华伟 (1981—), 男, 江苏沐阳人, 工程师, 从事园林植物生理生态研究。E-mail: jhw0128@126.com。

时还需对种子处理后其内部的生理变化及对种胚活力的影响进行深入研究。

参考文献:

- [1] 贺普超. 葡萄学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [2] 甘阳英, 李绍华, 宋松泉, 等. 不同种源的葡萄种子休眠及其解除的研究 [J]. 生物多样性, 2008, 16(6): 570–577.
- [3] 许良政, 罗来辉, 李坤新, 等. 野生蔬菜水茄种子发芽特性的研究 [J]. 种子, 2009, 28(8): 45–47.
- [4] 潘学军, 张文娥, 樊卫国. 外源激素处理对贵州毛葡萄种子发芽的影响 [J]. 种子, 2007, 26(1): 25–27.
- [5] 李德燕, 潘学军, 张文娥, 等. 贵州野生毛葡萄种子萌发生理特性研究 [J]. 种子, 2008, 27(2): 69–71.
- [6] 张剑侠, 王跃进, 石亮, 等. 葡萄种子育苗方法的比较 [J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2009(7): 33–37.
- [7] 柴菊华. 不同葡萄品种实生种子萌芽率与成苗率比较 [J]. 河北

1.2 试验实施

试验材料为当年生苗,2013 年 3 月 20 日于育苗床上进行扦插育苗,5 月 10 日移植到长 58 cm、宽 32 cm、深 18 cm 的塑料盆中,土深 14 cm,盆内有 1 层隔木板,防止积水,每盆种植 3 株,设置 3 个重复,共 24 盆。于 8 月 1 日用遮阳网进行遮阴处理,光照梯度为透光率 100% (CK)、80%、45%、13%。处理 35 d 后对各项指标进行测定。

1.3 分析与测定

1.3.1 光合-光响应曲线测定 在不同处理不同重复中,选择长势最好的连翘幼苗各 3 株,选择中上部成熟叶片作为测定叶,应用便携式光合测定系统 (Li-6400, USA) 进行光响应曲线测定。测定时,空气 CO₂ 浓度为 380 μmol/mol,叶室温度控制在 (25 ± 0.5)℃;相对湿度控制在 (60 ± 2)%;利用 LED 红蓝光光源设置光照梯度分别为 1 500、1 250、1 000、750、500、250、150、100、50、0 μmol/(m²·s)。测定前对叶片进行 15 min 光诱导 [1 000 μmol/(m²·s)],不同光照值设定数据采集时间 3 min。利用 Photosynthesis 软件计算光补偿点 (LCP)、光饱和点 (LSP)、暗呼吸速率 (DR)、最大净光合速率 (MNPR)、表观量子效率 (AQY),为了直观比较,光合-光响应曲线 (P_n -PAR) 拟合在 Excel 中拟合。

1.3.2 叶绿素含量及荧光参数测定 叶绿素含量用手持式叶绿素仪测定,以 SPAD 值表示;叶绿素荧光参数采用 Mini-PAM (GER) 调制式叶绿素荧光仪测定,叶片离体测定,采后暗适应 20 min。统计指标主要包括 PS II 原初光能转换效率 (F_v/F_m)、PS II 潜在活性 (F_v/F_o)、光化学猝灭系数 (q_p)、非光化学猝灭系数 (q_n)、电子传递速率 (ETR) 等。

2 结果与分析

2.1 光照对 2 种连翘的光合-光响应曲线的影响

从图 1 可以看出,在不同光照处理下 2 种连翘叶片的净光合速率 (P_n) 均随着光合有效辐射 (PAR) 的增加而增加,当 PAR 达到一定值后,即光饱和点 (LSP),光合速率随着光照的增加逐渐下降。2 种连翘在 80% 光照下曲线的顶点均高于其他处理,依次为对照、45% 光照,最低的是 13% 光照。金边连翘在不同的光照处理下光响应曲线差异较金脉连翘大,金边连翘在 45%、13% 光照处理下光合速率随着光照的增加光合速率曲线很快达到最大值,而金脉连翘光响应曲线这一趋势随光照处理的变化没有金边连翘强,曲线最高点和相应光照 (PAR) 高于金边连翘。

由表 1 可知,2 种连翘的暗呼吸速率均在对照条件下最

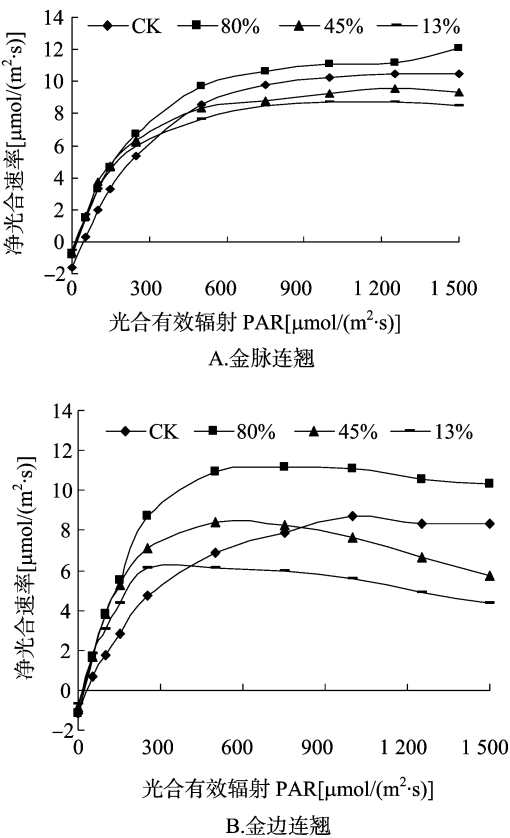


图1 2个连翘品种叶片在不同光照处理下的光合-光响应曲线

强,随着照度的降低而逐渐降低,与对照相比,80% 光照下金脉连翘 DR 降低 50%,13% 照为对照的 30.9%;而金边连翘降幅相对较小,13% 光照处理下仍有对照的 61.9%。金脉连翘的最大净光合速率在 80% 光照下与对照相当,而后随光照减弱而降低,45%、13% 光照处理分别下降为对照的 81.6%、74.6%;金边连翘的 MNPR 在 80% 光照处理下增加为对照的 125%,然后随着光照下降而下降,45%、13% 分别下降为对照的 89.2%、65.1%。2 个品种的 LSP 均随着光照减弱而逐渐降低,金脉连翘 LSP 在 80%、45%、13% 光照下分别为对照的 93.9%、71.8%、69.7%;金边连翘 LSP 在 80%、45%、13% 光照下分别为对照的 64.7%、43.4%、36.4%。2 品种 LCP 在 3 个弱光环境下均下降,金脉连翘分别只有对照的 42.9%、35.7%、28.6%;金边连翘的 LCP 在 80% 光照下只有对照的 58.3%,45%、13% 光照下相等,为对照的 41.7%。2 个品种 AQY 在弱光下均比对照高,金脉连翘在 3 个弱光处理环境下

表 1 不同光照条件下 2 种连翘的光合参数

品种	透光率 (%)	光合参数 (μmol/m ² ·s)				
		暗呼吸速率	最大净光合速率	光合饱和点	光合补偿点	表观量子效率
金脉连翘	100 (CK)	1.65	12.31	882	42	0.039
	80	0.83	12.38	828	18	0.043
	45	0.73	10.04	633	15	0.047
	13	0.51	9.18	615	12	0.043
金边连翘	100 (CK)	1.18	9.63	774	36	0.037
	80	1.15	12.00	501	21	0.057
	45	0.83	8.59	336	15	0.055
	13	0.73	6.27	282	15	0.051

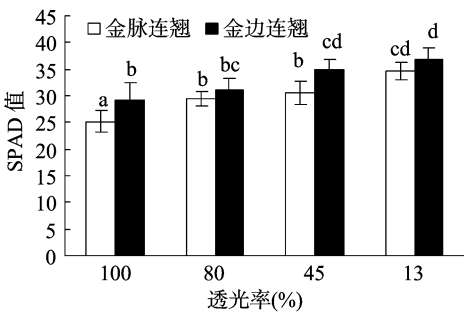
差别不大,分别增加了 10.3%、20.5%、10.3%;金边连翘 AQY 在弱光下均比对照有较大幅度的增加,分别增加 54.1%、48.6%、37.8%。

研究结果表明,2 种连翘在弱光环境下能通过降低暗呼吸速率、降低光饱和点、光补偿点、增加表观量子效率来减少消耗,增加对光能的吸收利用,达到对弱光环境的适应。但是 2 种连翘对光照的反应程度有所不同,金边连翘在弱光条件下比金脉连翘具有更低的光饱和点和较高表观量子效率,光饱和点低则表明植物光合作用速率随光量子密度的增大而迅速增加,很快即达到最大效率^[2],以最大能力利用低光量子密度,进行最大可能的光合作用,从而提高有机物质的积累,满足其生存生长的能量需要,表明金边连翘对弱光环境的适应能力优于金脉连翘。

2.2 光照对 2 种连翘叶绿素含量的影响

从图 2 可以看出,随着光照的减弱,2 种连翘的叶绿素含量均逐渐增加。总体上看,金边连翘的叶绿素含量比金脉连翘的含量高,在相同光照条件下分别高 15.7%、5.5%、14.4%、6.2%。金脉连翘在 80%、45%、13% 照度处理下叶绿素含量显著高于对照,分别比对照增加 16.9%、20.9%、37.3%;金边连翘则在 45%、13% 光照处理下叶绿素含量较对照、80%

光照处理升高,分别比对照增加了 19.5%、25.9%。结果表明,2 种连翘均能对弱光环境作出积极的响应,大幅增加叶绿素含量,从而提高对光能的吸收利用能力。



同种连翘不同光照标有不同的小写字母表示差异显著(P<0.05)。

图2 光照对 2 种连翘叶片叶绿素含量的影响

2.3 对 2 种连翘叶绿素荧光参数的影响

从表 2 可以看出,随光照的减弱,金脉连翘的 F_v/F_m 、 F_v/F_o 均有一定程度的减小,其中 13% 光照下的 F_v/F_m 、 F_v/F_o 下降显著,分别只有对照的 80.8%、49.0%;而光照对金边连翘的 F_v/F_m 影响较小,几乎没有变化,而 F_v/F_o 随着光照减弱均有不同幅度的上升,但不同处理间不显著。

表 2 不同光照处理对 2 种连翘叶绿素荧光参数的影响

品种	透光率(%)	F_v/F_m	F_v/F_o	q_P	q_N	ETR
金脉连翘	100	0.78 ± 0.02b	3.57 ± 0.52b	0.75 ± 0.01b	0.58 ± 0.04b	134.97 ± 2.01ab
	80	0.76 ± 0.01ab	3.22 ± 0.22ab	0.76 ± 0.02b	0.44 ± 0.03a	141.83 ± 1.68b
	45	0.74 ± 0.10ab	2.80 ± 0.57ab	0.63 ± 0.08a	0.48 ± 0.04a	104.05 ± 30.76a
	13	0.63 ± 0.15a	1.75 ± 0.16a	0.67 ± 0.00a	0.61 ± 0.02b	97.65 ± 25.24a
金边连翘	100	0.82 ± 0.01a	4.43 ± 0.18a	0.71 ± 0.01b	0.73 ± 0.05b	121.05 ± 3.18ab
	80	0.83 ± 0.01a	4.82 ± 0.31a	0.72 ± 0.11b	0.53 ± 0.02a	142.07 ± 24.27bc
	45	0.83 ± 0.00a	4.86 ± 0.06a	0.78 ± 0.04b	0.48 ± 0.07a	159.70 ± 11.79c
	13	0.82 ± 0.01a	4.58 ± 0.27a	0.58 ± 0.03a	0.68 ± 0.04b	106.17 ± 10.50a

注:同种连翘同列数据后标有不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

金脉连翘的 q_P 在 45%、13% 的光照处理下相近,显著低于在 80% 光照和对照处理; q_N 在 80%、45% 光照下显著低于对照、13% 光照;ETR 在 80% 光照下高于对照,后逐渐降低,具体表现为 80% > 100% > 45% > 13%。金边连翘的 q_P 随着光照减弱有缓慢升高,但在 13% 光照下显著下降;而 q_N 表现和 q_P 恰好相反,在 80%、45% 光照下比对照显著下降,在 13% 光照下又有显著上升;ETR 的变化趋势和 q_P 相同,均为 45% > 80% > 100% > 13% (表 2)。

2 种连翘在不同光照处理下的叶绿素荧光参数不尽相同,但是从 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、ETR 等 3 个参数看,金边连翘在弱光下的表现优于金脉连翘。

3 结论与讨论

叶绿素是光合作用的光敏催化剂,叶绿素是捕获光能的物质基础,与光合作用密切相关,其含量和比例是植物适应和利用环境因子的重要指标^[1],遮光条件下其含量增加不仅有利于对光能的捕获和吸收,而且有利于对弱光的利用,是耐阴植物的典型特征^[2]。本研究结果表明,在弱光环境下,2 种连翘的叶绿素含量均有增加,这有利于提高植株对弱光的利用

率,从而保证叶片在弱光环境中吸收更多的光能用于光合作用,本结果与其他众多研究结果^[3-4]相一致。2 个连翘品种叶绿素含量有所差别,在相同的光照条件下,金边连翘叶片的叶绿素含量均高于金脉连翘,在弱光下,金边连翘对弱光的吸收利用能力更强。

植物光合作用的光响应曲线对了解植物光化学过程中的光化学效率具有重要意义^[5]。植物光补偿点和饱和点的高低直接反映了植物对弱光的利用能力,是植物耐阴性评价的重要指标之一^[1]。植物光补偿点低,意味着植物在较低的照度下就开始了有机物质的正向增长;光饱和点低,则表明植物光合作用速率随光量子密度的增大而迅速增加,很快即达到最大效率。因而,较低的光补偿点和饱和点使植物在光限条件下以最大能力利用低光量子密度,进行最大可能的光合作用,从而提高有机物质的积累,满足其生存生长的能量需要^[2]。通常阴生植物的 LCP 在 20 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下,阳生植物的 LCP 一般在 50 ~ 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间^[6],本研究中 2 种连翘在全光照条件下的 LCP 在 20 ~ 50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间,表现出半阳生植物的特点,经过弱光(如 45%、13% 光照)一段时间的诱导, LCP 大幅度下降,均在 15 ~

12 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间,差别不大,表现出阴生植物的特点;在弱光处理下,金边连翘 LSP 下降幅度比金脉连翘大得多。综合光饱和点和光补偿点可知,2 种连翘对弱光环境均有良好的适应能力,但金边连翘具有更低的光饱和点,有利于在弱光下积累产物。表观量子效率是指光合作用机构每吸收 1 mol 光量子后光合释放的 O_2 摩尔数或同化 CO_2 的摩尔数^[7-8],反映了叶片在弱光条件下的光合能力,其值越大,表明植物吸收与转换光能的色素蛋白复合体可能越多,利用弱光能力越强^[9]。通常在适宜的生长条件下,植物的实测光合量子效率在 0.03 ~ 0.05 之间^[10-11],本试验中 2 种连翘在弱光环境下的表观量子效率比全光照环境都有不同程度的升高,说明对弱光有一定的适应性,但是从具体数据看,在相同的弱光下,金边连翘的表观量子效率比金脉连翘的高,对弱光的适应性更强。

叶绿素荧光参数能够反映叶片光合作用过程中光反应过程光能的吸收、传递、耗散、分配等方面的内在特性而受到广泛运用^[12-14]。 F_v/F_m 反映 PS II 反应中心内禀光能转换效率,在正常生长环境下一般在 0.75 ~ 0.85 之间,在非胁迫条件下数值变化极小,不受物种和生长条件的影响,而在胁迫条件下明显下降^[15-16],是反映植物在胁迫条件下光合作用受抑程度的理想指标^[17]。本试验中金边连翘的 F_v/F_m 基本不变,而金脉连翘在弱光处理下逐渐降低,在 13% 的光照处理下的 F_v/F_m 与对照相比显著下降,说明金脉连翘长期在弱光环境下,光合机构受到很大程度影响。金脉连翘在 13% 的弱光环境下 F_v/F_m 显著低于对照,说明 13% 的弱光环境下叶片 PS II 反应中心失活或破坏。 q_p 反映的是 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的比例,反映了 PS II 反应中心的开放程度。金脉连翘在 45%、13% 的光照下 q_p 明显下降,说明长期弱光使金脉连翘叶片的 PS II 反应中心的开放程度下降,PS II 将光能转化为化学能的能力下降, q_N 反映的是 PS II 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分,是 PS II 的一种自我保护机制^[10,18],随着透光率降低,2 个品种叶片 q_N 呈现 80%、45% 处理先下降,在 13% 光照处理下 q_N 后升高趋势,下降表明叶片捕捉光的能力下降,PS II 相应的热耗散比例也在下降,升高表明 PS II 吸收的光能的利用能力明显下降,而热耗散的能量增加,与 ETR 在 13% 光照下的显著降低相对应。

2 种观赏连翘在适度遮阴条件下表现均较好,均能正常生长。在极低光照(如 13%)下,虽然金边连翘较金脉连翘光合速率下降幅度较大,但是金边连翘在弱光处理下叶绿素含量更高,光饱和点低,PS II 的潜在活性、PS II 原初光能转化效率均比金脉连翘好,因此,金边连翘更适合阴生环境,在园林栽培种金边连翘更适合种植于光线条件相对不

足的地方。

参考文献:

- [1] 王建华,任士福,史宝胜,等. 遮阴对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学报,2011,31(7):1811-1817.
- [2] 王雁,苏雪痕,彭镇华. 植物耐阴性研究进展[J]. 林业科学研究,2002,15(3):349-355.
- [3] 刘鹏,康华靖,张志详,等. 香果树(*Emmenopterys henryi*)幼苗生长特性和叶绿素荧光对不同光强的响应[J]. 生态学报,2008,28(11):5656-5664.
- [4] 缴丽莉,路丙社,周如久,等. 遮光对青榨槭光合速率及叶绿素荧光参数的影响[J]. 园艺学报,2007,34(1):173-178.
- [5] Sharp R E, Matthews M A, Boyer J S. Kok effect and the quantum yield of photosynthesis[J]. Plant Physiology,1984,75:95-101.
- [6] 夏江宝,张光灿,刘京涛,等. 美国凌霄光合生理参数对水分与光照的响应[J]. 北京林业大学学报,2008,30(5):13-18.
- [7] 余叔文. 植物生理与分子生物学[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [8] 许大全. 气孔的不均匀关闭与光合作用的非气孔限制[J]. 植物生理学通讯,1995,31(4):246-252.
- [9] Richardson A D, Berlyn G P. Spectral reflectance and photosynthetic properties of *Betula papyrifera* (Betulaceae) leaves along an elevational gradient on Mt. Mansfield, Vermont, USA[J]. American Journal of Botany,2002,89(1):88-94.
- [10] Larcher W. Physiological plant ecology[M]. Berlin: Springer, 1980.
- [11] 刘建锋,杨文娟,江泽平,等. 遮阴对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学报,2011,31(20):5999-6004.
- [12] 张力思,王洁,艾呈祥,等. 外源 NO 对干旱胁迫下君迁子幼苗光合作用的影响[J]. 江苏农业学报,2014,30(3):623-628.
- [13] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报,1999,16(4):444-448.
- [14] 申海进,郭巧生,房海灵,等. 滤光膜处理对花期野菊光合特性和叶绿素荧光的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(3):154-156.
- [15] 何炎红,郭连生,田有亮. 白刺叶不同水分状况下光合速率及其叶绿素荧光特性的研究[J]. 西北植物学报,2005,25(11):88-95.
- [16] 许大全,张玉忠,张荣铎. 植物光合作用的光抑制[J]. 植物生理学通讯,1992,28(4):237-243.
- [17] 郝兴宇,韩雪,李萍,等. 大气 CO_2 浓度升高对绿豆叶片光合作用及叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(10):2776-2780.
- [18] 钱永强,周晓星,韩蕾,等. Cd^{2+} 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响[J]. 生态学报,2011,31(20):6134-6142.