

光质对三叶崖爬藤光合特性和总黄酮含量调控的研究

韩敏琪^{1,2}, 徐琳煜^{1,2}, 白岩^{1,2*}, 胡晓甜^{1,2}, 吴学谦^{1,2}, 郑炳松^{1,2}

¹浙江农林大学省部共建亚热带森林培育国家重点实验室, 杭州311300

²浙江农林大学林业与生物技术学院, 杭州311300

摘要: 本文主要目的是研究光质对三叶崖爬藤(*Tetrastigma hemsleyanum*)光合特性[叶绿素含量、净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)]及总黄酮含量的影响。以二年生已初生块根的三叶崖爬藤扦插苗为处理材料, 种植在透明膜(CK-W)、红膜(RF)、黄膜(YF)、绿膜(GF)及蓝膜(BF)覆盖的大棚中。结果表明: RF处理下其叶绿素 a (Chl a)、叶绿素 b (Chl b)和叶绿素 $a+b$ (Chl $a+b$)含量最高, BF处理下叶绿素 a/b (Chl a/b)极显著高于其他处理; 光合-光响应曲线拟合后发现, 与CK-W相比, YF、BF和GF处理下三叶崖爬藤 P_n 、 G_s 、 T_r 和 C_i 均较高, RF处理下最低。全天光合测定表明, 三叶崖爬藤具有光合“午休”现象, 其中CK-W与BF处理下 P_n 最高且相近, RF整体处于较低水平; T_r 与 C_i 在日变化过程中大致与 G_s 呈同步变化趋势。CK-W和YF处理下的叶片中的总黄酮含量极显著高于其他光质处理, RF处理下块根中的总黄酮含量最高且与其他光质处理差异极显著。综上所述, 三叶崖爬藤的光合特性和不同部位的总黄酮含量对光质处理的响应都是有所差异的。

关键词: 三叶崖爬藤(*Tetrastigma hemsleyanum*); 光质; 光合特性; 总黄酮含量

三叶崖爬藤(*Tetrastigma hemsleyanum*)系葡萄科崖爬藤属植物, 以块根或全草入药, 具有抗炎、抑菌、镇痛等作用(廖淑彬等2017), 近年来常用于抑制结肠癌(林霜等2016)、食管癌(张胜强等2017)、肺癌(钟良瑞等2016; 钟良瑞和魏克民2014)等多种肿瘤细胞的增殖和迁移, 无毒且副作用小。其性喜阴, 常见于林下栽培, 所以生长发育会受到林下光强和光质调控(许大全等2015)。其中, 光质可调控植物光合作用(林魁等2017)、组织器官形态结构(郝俊江等2011; 李万莲等2000)、黄酮类化合物含量(赵德修等1999)等。例如, 光质显著影响铁皮石斛(*Dendrobium officinale*)根长、种高与茎粗、萌蘖数、叶绿素和多糖含量(高亭亭等2012); 在白光基础上补充红光或蓝光有利于叶用莴苣(*Lactuca sativa*)的生长(周成波等2015); 短波光有利于银杏(*Ginkgo biloba*)叶片(谢宝东和王华田2006)和龙眼(*Dimocarpus longan*)胚性愈伤组织的类黄酮积累(董慧雪等2014)等。目前, 关于光质对三叶崖爬藤生理生化和黄酮含量调控的研究较少, 本试验着重讨论光质处理对三叶崖爬藤的光合特性和总黄酮含量的影响及其变化规律。

1 材料与方法

1.1 材料处理

本研究以二年生且初生块根的三叶崖爬藤

(*Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg)扦插苗(购自浙江省台州市黄岩种植基地)为试验材料, 经浙江农林大学吴学谦教授鉴定为三叶崖爬藤。于2018年3月~10月在省部共建亚热带森林培育国家重点实验室(浙江临安, 30°15'30.39"N, 119°43'26.92"E)的温室中进行光处理。试验所用光质膜(透明膜、红膜、黄膜, 绿膜及蓝膜)从东莞市启航塑胶有限公司购买。搭建长宽高均为1.5 m的拱棚, 每棚上覆盖一种颜色的光质膜至下部1/3处, 一直覆盖到三叶崖爬藤收获; 利用遮阳网剪洞法调节每光质膜下的光强至全光照70%, 用照度计(台湾泰仕)在晴天中午定期测定棚内的透光率, 确保光强误差控制在5%左右。

将种苗种植在花盆里, 栽培基质由泥炭、田园土、珍珠岩、牛粪按照体积比4:4:4:1配制。放在遮阳网棚下缓苗一个月后, 选取生长健壮、无病虫害、苗高大小近似的三叶崖爬藤苗60盆, 随机分为5组, 每组12盆, 移入光质膜覆盖的拱棚培养, 以透明膜作为对照组, 记为CK-W, 红膜记为RF, 黄膜记为YF, 绿膜标记为GF, 蓝膜标记为BF。各处

收稿 2019-01-10 修定 2019-04-16

资助 浙江省公益项目(2015C32096)、浙江省科技厅重点项目(2017C02012)和浙江农林大学人才项目(2016FR010)。

* 通讯作者(hzbaian@zafu.edu.cn)。

理的三叶崖爬藤苗进行浇水、杀虫、除草、生长搭架等日常养护工作。重复3次,并分别取样。

1.2 试验方法

1.2.1 光质膜的光谱参数测定

拱棚覆盖光质膜后,利用TS-100A光纤光谱仪(杭州天竺光学技术有限公司)采集质膜的光谱数据。波长测量范围为380~1 100 nm,光谱分辨率优于0.4 nm。

1.2.2 叶绿素含量测定

采用95% (质量分数)乙醇浸提法(张志良等2009)测定叶片中的叶绿素 a (Chl a)和叶绿素 b (Chl b)含量,并计算叶绿素 $a+b$ (Chl $a+b$)含量和叶绿素 a/b (Chl a/b)值。

1.2.3 叶片光合参数测定

于采收期的晴天,采用LI-6400XT便携式光合系统测定仪(美国LI-COR公司),选择配备红蓝光源的2 cm×3 cm标准叶室,测定三叶崖爬藤的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)。设定一系列的光合有效辐射(PAR)梯度: 0、50、100、150、200、300、400、600、800、1 000 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$;最少稳定时间为2 min, CO_2 浓度为400 $\mu mol \cdot s^{-1}$,叶室温度为29°C,气体流速为500 $\mu mol \cdot s^{-1}$,相对湿度为70%。

1.2.4 叶片全天光合参数测定

测量仪器及设定参数同第1.2.3节所述。测定时间为晴天上午8:00至下午16:00,每隔1 h进行测定,记录三叶崖爬藤 P_n 、 G_s 、 C_i 和 T_r 。

1.2.5 总黄酮测定

分别精密称取3份2 g新鲜三叶崖爬藤根和叶片,参照胡晓甜等(2018)的方法,以芦丁(槲皮素-3- O -芸香糖苷, quercetin 3- O -rutinoside; 天津士兰科技有限公司,序列号为PCM-MA-005,纯度 $\geq 97\%$)作为标准品,利用TU-1900双光束紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)、7230G可见分光光度计(上海精密科学仪器有限公司)测定总黄酮含量,并进行方法学考察。

1.2.6 数据处理

采用Excel 2010对数据进行统计分析,并采用叶子飘等(2010)的方法拟合光响应曲线。运用单因素方差分析法(one-way ANOVA)和最小显著性

差异法(LSD)进行方差分析和多重比较($\alpha=0.01$)。图、表中数据为平均值 \pm 标准差。

2 实验结果

2.1 不同光质膜下的光谱参数

各光质膜下的太阳辐射光谱如图1所示,其波长及峰值与试验设计基本一致,膜的光谱参数达到试验要求。

2.2 光质对叶色素含量的影响

如表1所示,三叶崖爬藤Chl a 、Chl b 、Chl $a+b$ 含量变化趋势一致,即RF>GF>CK-W>BF>YF,且以RF处理的含量明显高于其他组;而Chl a/b 以BF最高,比最低的YF高了约23%,其余3组则差异不显著,说明叶绿素作为植物进行光合作用的主要色素,受光质处理的影响。

2.3 光质对光合-光响应曲线的影响

使用非直角双曲线模型拟合曲线得图2。其中,三叶崖爬藤光响应曲线如图2-A所示,不同光质处理后的 P_n 变化趋势有所不同,总体大小顺序为BF>GF>CK-W>YF>RF。其中,BF和GF一直高于CK-W;而RF处理下的 P_n 始终处于最低水平,显示RF处理下的三叶崖爬藤在强光下的生理活动能力较低。如图2-B所示,各处理下的 G_s 呈现缓慢下降趋势。图2-C中的 T_r 则随PAR增加而上升,但始终是RF处于最低值,GF大于其他处理组。而在图2-D中, C_i 浓度高时, P_n 降低,两者之间呈现负相关。

光合-光响应曲线拟合参数如表2所示,CK-W、

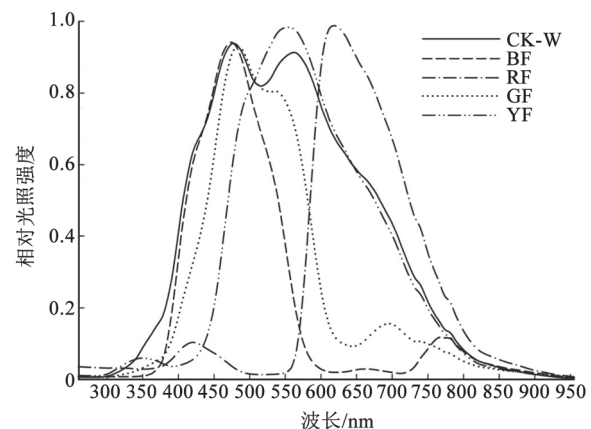


图1 不同光质膜的太阳辐射光谱

Fig.1 Irradiance spectra under different films

表1 不同光质对三叶崖爬藤叶片色素含量的影响

Table 1 Effects of different light qualities on pigment contents in *T. hemsleyanum*

光质	Chl <i>a</i> 含量/mg·g ⁻¹ (FW)	Chl <i>b</i> 含量/mg·g ⁻¹ (FW)	Chl <i>a+b</i> 含量/mg·g ⁻¹ (FW)	Chl <i>a/b</i>
CK-W	0.992±0.004 ^{Cc}	0.320±0.01 ^{Ab}	1.312±0.014 ^{Cc}	3.104±0.083 ^{ABb}
RF	1.135±0.006 ^{Aa}	0.362±0.012 ^{Aa}	1.497±0.017 ^{Aa}	3.133±0.092 ^{ABb}
YF	0.714±0.003 ^{Ec}	0.254±0.005 ^{Bc}	0.968±0.002 ^{Ec}	2.811±0.065 ^{Bb}
GF	1.084±0.005 ^{Bb}	0.350±0.008 ^{Ab}	1.433±0.009 ^{Bb}	3.106±0.074 ^{ABb}
BF	0.930±0.008 ^{Dd}	0.257±0.025 ^{Bc}	1.187±0.029 ^{Dd}	3.637±0.363 ^{Aa}

同列数据用不同小写和大写字母标识分别表示差异显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$), 表2同。

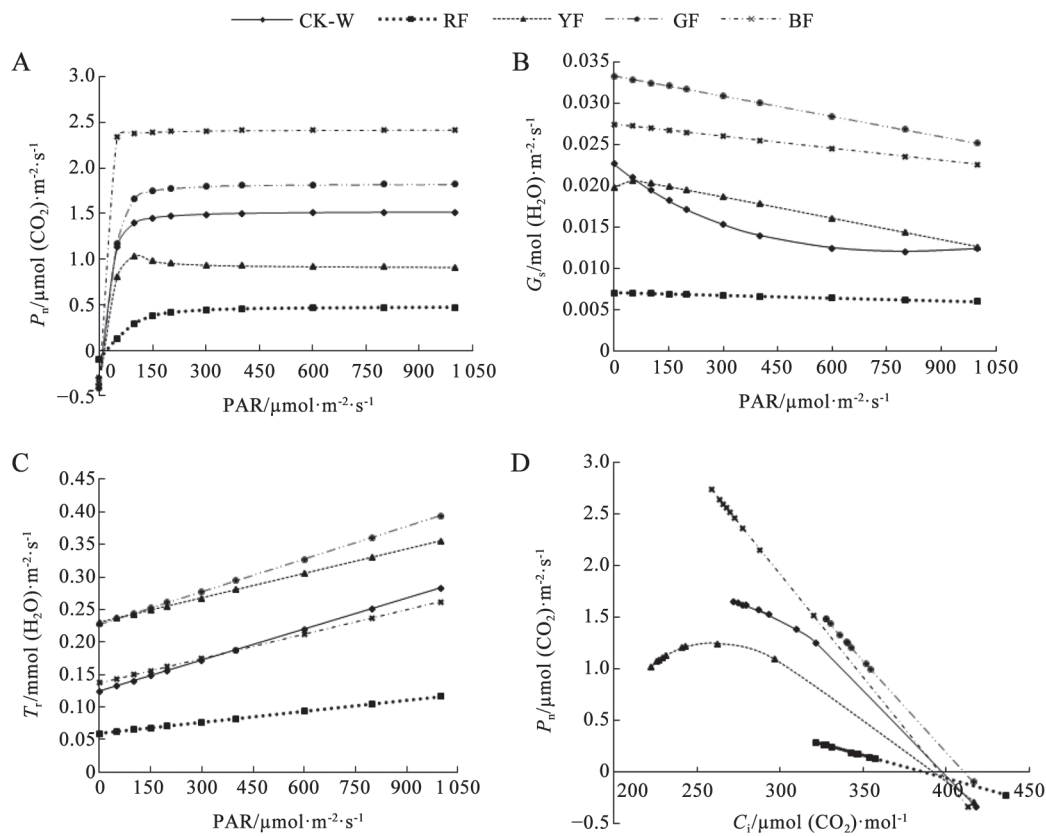


图2 不同光质处理下三叶崖爬藤光合-光响应曲线

Fig.2 Photosynthesis–light response curves in *T. hemsleyanum* under different light quality treatments

A: 净光合速率(P_n)对光的响应; B: 气孔导度(G_s)对光的响应; C: 蒸腾速率(T_r)对光的响应; D: 胞间 CO_2 浓度(C_i)对光的响应。

YF、GF和BF的量子效率、暗呼吸速率、光补偿点和光饱和点差异并不大, RF较其他组差异明显。

2.4 光质对光合日变化特性的影响

如图3-A所示, 三叶崖爬藤具有光合“午休”现象, 且不同光质下 P_n 日变化趋势基本一致, 即在早上9:00左右达到最高值, 在13:00达到最低值, 在15:00出现第二个峰值; RF整体处于较低水平。如

图3-B所示, 在光合午休现象之前, BF处理组的 G_s [最大值 $0.037 \text{ mol (H}_2\text{O)} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]显著高于其他光质处理组, 光合午休之后则以CK-W最高[$0.026 \text{ mol (H}_2\text{O)} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]; 如3-C所示, CK-W、RF、GF处理下三叶崖爬藤的 T_r 呈双峰曲线, BF和YF处理下的 T_r 则呈单峰曲线; T_r 与 G_s 在日变化过程中呈同步变化趋势, 具体表现为正相关。如图3-D所示, 各光质处

表2 不同光质处理下三叶崖爬藤的光合响应曲线特征参数

Table 2 Characteristic parameters of photosynthetic response curve in *T. hemsleyanum* under different light quality treatments

光质	量子效率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	暗呼吸速率/ $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	光补偿点/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	光饱和点/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
CK-W	$0.103\pm 0.015^{\text{Aa}}$	$0.297\pm 0.004^{\text{Aa}}$	$2.889\pm 0.651^{\text{Bb}}$	$527.514\pm 145.595^{\text{Aa}}$
RF	$0.007\pm 0.003^{\text{Bb}}$	$0.108\pm 0.035^{\text{Ab}}$	$16.984\pm 2.417^{\text{Aa}}$	$477.684\pm 59.788^{\text{Aa}}$
YF	$0.078\pm 0.011^{\text{Aa}}$	$0.348\pm 0.053^{\text{Aa}}$	$4.449\pm 0.510^{\text{Bb}}$	$230.972\pm 62.435^{\text{Aa}}$
GF	$0.065\pm 0.002^{\text{Aa}}$	$0.415\pm 0.121^{\text{Aa}}$	$6.406\pm 1.946^{\text{Bb}}$	$358.619\pm 35.153^{\text{Aa}}$
BF	$0.064\pm 0.027^{\text{Aa}}$	$0.262\pm 0.059^{\text{Aa}}$	$4.077\pm 0.719^{\text{Bb}}$	$710.448\pm 182.190^{\text{Aa}}$

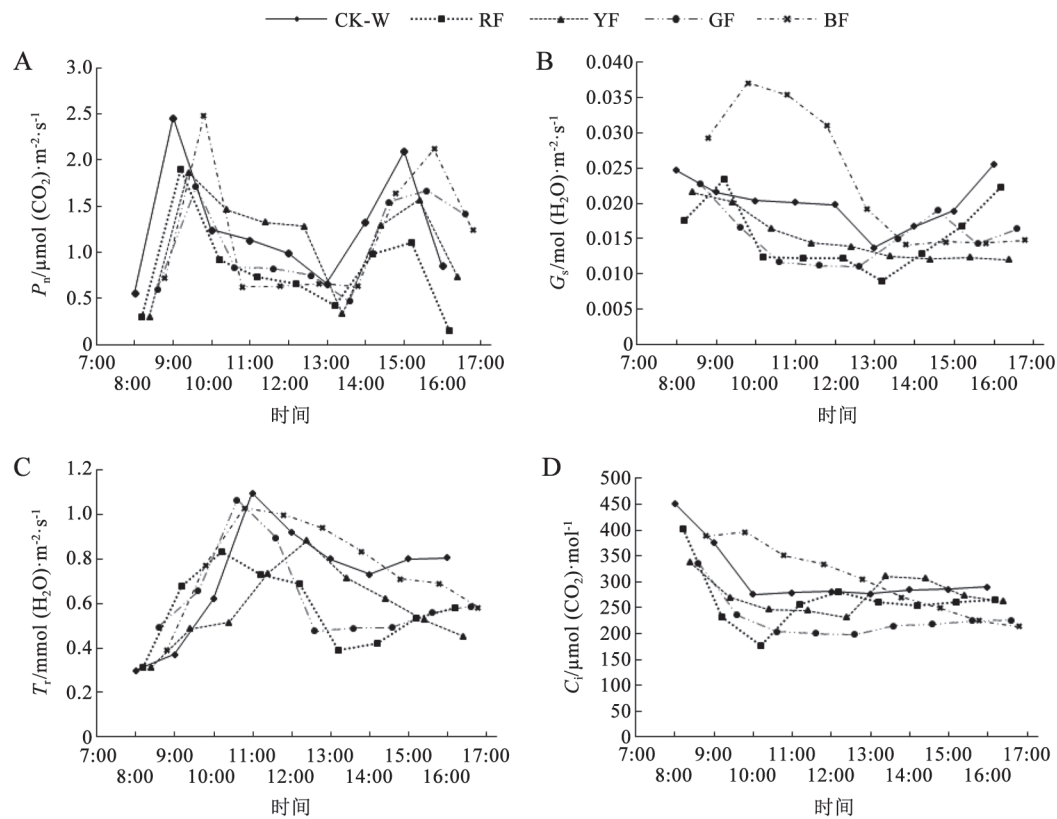


图3 不同光质处理下三叶崖爬藤日变化对光合有效辐射的响应

Fig.3 Response of diurnal variation of photosynthesis to photosynthetically active radiation in *T. hemsleyanum* under different light quality treatments

A: 净光合速率(P_n)日变化; B: 气孔导度(G_s)日变化; C: 蒸腾速率(T_r)日变化; D: 胞间 CO_2 浓度(C_i)日变化。

理下的 C_i 总体上呈现下降的趋势,与图3-A和B对比发现,全天 C_i 大致与 G_s 变化同步,和 P_n 呈现相反的趋势。

2.5 光质对总黄酮含量的影响

以芦丁为标准品溶液,其浓度(C)为横坐标,吸光值(A)为纵坐标,得标准回归方程为 $A=11.000C+0.002$, $R^2=0.999$ 。稳定性试验结果表明,三叶崖爬

藤块根和叶片中总黄酮提取物在30 min内稳定,其相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为1.37%;试验重复性较好, RSD为3.33%;精密度试验结果表明仪器精密度良好, RSD为0.78%。

将试验数据代入线性回归方程,计算得不同光质处理下三叶崖爬藤叶片和块根中总黄酮含量(图4)。叶片中总黄酮含量高低的顺序为CK-W>

YF>RF>BF>GF, 且多数组之间存在显著差异; 其中RF、BF、GF较CK-W分别低了约20%、26%和31%, YF则和CK-W相差不大。而在三叶崖爬藤块根中, 总黄酮含量的顺序为RF>YF>BF>CK-W>GF, 各处理组之间差异显著, RF、YF、BF分别约为CK-W的1.27、1.16和1.08倍。

3 讨论

3.1 不同光质对三叶崖爬藤光合作用的影响

叶绿素是植物在光合作用过程中将光能转变为化学能并用于物质合成的关键物质。一般而言, 叶绿素含量高低可在一定程度上直接反映植物光合效率的大小(郭春芳等2011), 但是, 在不同光处理下, 也会出现叶绿素含量与 P_n 不同步的现象, 因为植物光合作用强弱还会受到温度、水分、肥料等其他因素的影响(闫萌萌等2014)。本研究中, RF处理下的Chl *a*、Chl *b*、Chl *a+b*显著高于其他光质处理组, BF处理下的Chl *a/b*远高于其他处理组, 与余阳等(2015)在嫁接的‘夏黑’葡萄(*Vitis vinifera*)上的试验结果一致。

P_n 的数值在一定情况下反应植物光合作用的强弱。前人研究表明, 在相同光量子通量密度下, 红膜与蓝膜处理下的烟草(*Nicotiana tabacum*)叶片 P_n 较高(柯学等2011); 但是, 对于不耐强光直射的

生姜(*Zingiber officinale*)而言, 绿光处理的叶片 P_n 较高(张瑞华等2008); 而罗美佳等(2014)研究发现, 蓝光和黄光处理下三七(*Panax notoginseng*) P_n 高于其他处理。可见, 不同植物对光质的反应不同。在本研究中, BF处理下, 光照强度为 $600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 三叶崖爬藤的 P_n 达到最大值。

本文研究中三叶崖爬藤的光合特性与刘崑艳等(2015)的研究结果不一致, 可能是和使用不同产地的三叶崖爬藤作为研究材料有关。而且, 虽然植物的 P_n 和 T_r 会受到气孔限制(许大全1997), 影响到 C_i , 但是并不意味着几者之间就是互为因果的关系, 因为在植物光合作用的整个过程中, 还会受到诸多因素的影响(陈根云等2010), 例如叶片周围空气的 CO_2 浓度、 G_s 、叶肉导度(g_m)和叶肉细胞的光合活性等, 所以它们几个指标之间并不是简单的正负相关关系。

3.2 不同光质对三叶崖爬藤总黄酮含量的影响

光质对植物的次生代谢过程也有极大影响(葛格等2017), 其中, 黄酮类化合物作为一种常见次生代谢产物, 广泛存在于植物中, 具有调节血脂、扩张冠脉、抗肿瘤等功效(杨杰等2017), 还对植物自身起着光保护和抗氧化的作用。因此, 光质对黄酮类化合物的积累有一定影响(潘俊倩等2016)。本试验结果中, RF和YF处理下的三叶崖爬藤的总黄酮含量高于CK-W, 与陈泽雄(2016)结论相似, 即黄光和红光处理均有利于灰毡毛忍冬(*Lonicera macranthoides*)中黄酮类物质的积累; 与陈美香等(2016)研究的蓝光处理能促进金线莲(*Anoectochilus roxburghii*)总黄酮积累的结果不一致, 说明不同植物的黄酮类化合物对于光质反应有所区别。

本研究得出以下结论, 光合色素以RF处理含量高, P_n 以BF处理最高, 总黄酮以RF和YF处理最高, 表明三叶崖爬藤的初生代谢和类黄酮代谢的过程非常复杂; 另外, 叶片中总黄酮含量大于块根, 是合成于叶片运送至块根, 还是分别合成, 也有待进一步研究。

参考文献(References)

Chen GY, Chen J, Xu DQ (2010). Thinking about the relationship between net photosynthetic rate and inter-cellular

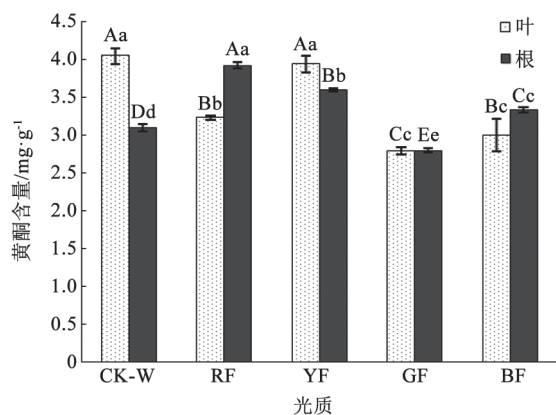


图4 不同光质下三叶崖爬藤总黄酮含量

Fig.4 Contents of total flavonoids in *T. hemsleyanum* under different light qualities

柱形上用不同小写和大写字母标识分别表示差异显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)。

- CO₂ concentration. *Plant Physiol Commun*, 46 (1): 64–66 (in Chinese) [陈根云, 陈娟, 许大全(2010). 关于净光合速率和胞间CO₂浓度关系的思考. *植物生理学通讯*, 46 (1): 64–66]
- Chen M, Wu L, Cao L, et al (2016). Effect of light quality on growth and main chemical composition of tissue culture in *Anoectochilus Roxburghii*. *China Illum Eng J*, 27 (2): 112–117 (in Chinese with English abstract) [陈美香, 武礼宾, 曹立等(2016). 光质对金线莲组培苗生长和主要化学成分的影响. *照明工程学报*, 27 (2): 112–117]
- Chen Z (2016). Studies on the characterization of chlorogenic acids biosynthetic pathways and regulation of CGA content in *Lonicera macranthoides* Hand.-Mazz (dissertation). Chongqing: Chongqing University (in Chinese with English abstract) [陈泽雄(2016). 灰毡毛忍冬(*Lonicera macranthoides* Hand.-Mazz)中绿原酸生物合成途径及调控技术研究(学位论文). 重庆: 重庆大学]
- Dong H, Zhou Y, Tian Q, et al (2014). Effects of different light qualities on the contents of flavonoids of embryonic callus in *Dimocarpus longan* Lour. *Chin J Trop Crops*, 35 (12): 2374–2377 (in Chinese with English abstract) [董慧雪, 周燕蓉, 田奇琳等(2014). 不同光质对龙眼胚性愈伤组织类黄酮含量的影响. *热带作物学报*, 35 (12): 2374–2377]
- Gao T, Si J, Zhu Y, et al (2012). Effects of light quality and germplasm on growth and effective ingredients of *Dendrobium officinale* germchit. *China J Chin Mater Med*, 37 (2): 198–201 (in Chinese with English abstract) [高亭亭, 斯金平, 朱玉球等(2012). 光质与种质对铁皮石斛种苗生长和有效成分的影响. *中国中药杂志*, 37 (2): 198–201]
- Ge G, Li MY, Xue ZX, et al (2017). Effects of different light quality on the growth and metabolites accumulation in *Inonotus sanghuang*. *J Chin Med Mater*, 40 (5): 1026–1030 (in Chinese with English abstract) [葛格, 李美芽, 薛章贤等(2017). 不同光质对桑黄的生长及代谢产物累积影响. *中药材*, 40 (5): 1026–1030]
- He JJ, Chen XD, Lan J (2011). Effect of light on growth in *Ganoderma lucidum* and anti-oxidative enzyme activities. *Chin Trad Herb Drugs*, 42 (12): 2529–2534 (in Chinese with English abstract) [郝俊江, 陈向东, 兰进(2011). 光质对灵芝生长及抗氧化酶系统的影响. *中草药*, 42 (12): 2529–2534]
- Hu XT, Lu SZ, Bai Y, et al (2018). Effects of different shading treatments on physiology, biochemistry and total flavonoids of *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg in Zhejiang Province. *Guihaia*, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20180801.1850.002.html> (in Chinese with English abstract) [胡晓甜, 刘守赞, 白岩等(2018). 遮阴对浙江三叶青生理生化及总黄酮影响研究. *广西植物*, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20180801.1850.002.html>]
- Ke X, Li JY, Li XY, et al (2011). Effects of different light quality on growth and photosynthesis of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) leaves. *Plant Physiol J*, 47 (5): 512–520 (in Chinese with English abstract) [柯学, 李军营, 李向阳等(2011). 不同光质对烟草叶片生长及光合作用的影响. *植物生理学报*, 47 (5): 512–520]
- Liao S, Cai W, Chen D, et al (2017). Anti-inflammatory and analgesic effects of the extracts of *Tetrastigma Hemsleyanum*'s aerial parts from Fujian *in vivo*. *Chin J Mod Appl Pharm*, 34 (3): 319–324 (in Chinese with English abstract) [廖淑彬, 蔡韦炜, 陈丹等(2017). 闽产三叶青地上部分提取物体内抗炎镇痛作用研究. *中国现代应用药学*, 34 (3): 319–324]
- Lin K, Huang Z, Jin X, et al (2017). Progress of research in light regulation for plants. *Chin J Trop Crops*, 38 (6): 1163–1170 (in Chinese with English abstract) [林魁, 黄枝, 金心怡等(2017). 植物生长光调控应用研究进展. *热带作物学报*, 38 (6): 1163–1170]
- Lin S, Zhong L, Wei K (2016). Apoptosis-inducing effect of ethylacetate extracts of Sanyeqing (*Tetrastigma Hemsleyanum*) on colorectal cancer cell HT29 subcutaneous transplanted tumor. *Chin J Trad Med Sci Technol*, 23 (5): 542–545 (in Chinese with English abstract) [林霜, 钟良瑞, 魏克民(2016). 三叶青乙酸乙酯提取物对结肠癌HT29细胞皮下移植瘤的诱导凋亡作用. *中国中医药科技*, 23 (5): 542–545]
- Liu YY, Zhou YF, Li Q, et al (2015). Study on leaf transpiration and stomatal structure of medicinal plant *Tetrastigma hemsleyanum*. *Chin Trad Herb Drugs*, 46 (17): 2610–2617 (in Chinese with English abstract) [刘岚艳, 周以飞, 李清等(2015). 三叶青的蒸腾作用与气孔结构研究. *中草药*, 46 (17): 2610–2617]
- Luo MJ, Xia PG, Qi ZH, et al (2014). Effect of light quality on growth, photosynthesis and effective components of *Panax notoginseng*. *China J Chin Mater Med*, 39 (4): 610–613 (in Chinese with English abstract) [罗美佳, 夏鹏国, 齐志鸿等(2014). 光质对三七生长、光合特性及有效成分积累的影响. *中国中药杂志*, 39 (4): 610–613]
- Pan JQ, Tong XR, Guo BL (2016). Progress of effects of light on plant flavonoids. *China J Chin Mater Med*, 41 (21): 3897–3903 (in Chinese with English abstract) [潘俊倩, 佟曦然, 郭宝林(2016). 光对植物黄酮类化合物的影响研究进展. *中国中药杂志*, 41 (21): 3897–3903]
- Wu CF, Li JY, Li XY, et al (2011). Effects of color film shading on plastid pigment content in tobacco leaf. *Acta Tabac Sin*, 17 (6): 48–53 (in Chinese with English abstract) [鄂春芳, 李军营, 李向阳等(2011). 不同颜色薄膜遮光对烟草生长期质体色素含量的影响. *中国烟草学报*, 17 (6): 48–53]

- Xie BD, Wang HT (2006). Effects of light spectrum and photoperiod on contents of flavonoid and terpene in leaves of *Ginkgo biloba* L. *J Nanjing For Univ Nat Sci Edit*, 30 (2): 51–54 (in Chinese with English abstract) [谢宝东, 王华田(2006). 光质和光照时间对银杏叶片黄酮、内酯含量的影响. *南京林业大学学报*, 30 (2): 51–54]
- Xu DQ (1997). Some problems in somatal limitation analysis of photosynthesis. *Plant Physiol Commun*, 33 (4): 241–244 (in Chinese) [许大全(1997). 光合作用气孔限制分析中的一些问题. *植物生理学通讯*, 33 (4): 241–244]
- Xu DQ, Gao W, Ruan J (2015). Effects of light quality on plant growth and development. *Plant Physiol J*, 51 (8): 1217–1234 (in Chinese with English abstract) [许大全, 高伟, 阮军(2015). 光质对植物生长发育的影响. *植物生理学报*, 51 (8): 1217–1234]
- Yan MM, Wang ML, Wang HB, et al (2014). Effects of light quality on photosynthetic pigment contents and photosynthetic characteristics of peanut seedling leaves. *Chin J Appl Ecol*, 25 (2): 483–487 (in Chinese with English abstract) [闫萌萌, 王铭伦, 王洪波等(2014). 光质对花生幼苗叶片光合色素含量及光合特性的影响. *应用生态学报*, 25 (2): 483–487]
- Yang J, Sha J, Gao X, et al (2017). Immune regulation function of flavonoids and its mechanisms. *Chin J Anim Nutr*, 29 (12): 4295–4300 (in Chinese with English abstract) [杨杰, 沙金丹, 高翔等(2017). 黄酮类化合物的免疫调节作用及机制. *动物营养学报*, 29 (12): 4295–4300]
- Ye ZP, Kang HJ, Tao YL, et al (2010). Some problems on photosynthetic parameters calculated by photosynthesis assistant. *Plant Physiol Commun*, 46 (1): 67–70 (in Chinese) [叶子飘, 康华靖, 陶月良等(2010). 以“光合助手”计算光合参数的一些问题. *植物生理学通讯*, 46 (1): 67–70]
- Yu Y, Liu S, Li C, et al (2015). Effects of LED light quality on the photosynthetic properties and physiological indexes of ‘Summer black’ grape. *J Fruit Sci*, 32 (5): 879–884 (in Chinese with English abstract) [余阳, 刘帅, 李春霞等(2015). LED光质对‘夏黑’葡萄光合特性和生理指标的影响. *果树学报*, 32 (5): 879–884]
- Zhang RH, Xu K, Dong CX (2008). Effect of light quality on photosynthetic characteristics of ginger leaves. *Sci Agr Sin*, 41 (11): 3722–3727 (in Chinese with English abstract) [张瑞华, 徐坤, 董灿兴(2008). 光质对生姜叶片光合特性的影响. *中国农业科学*, 41 (11): 3722–3727]
- Zhang SQ, Zhang HY, Huang JW, et al (2017). Inhibitory effect of down-regulation of notch1 on *Tetrastigma Hemsleyani* radix flavone on migration and invasion of esophageal cancer EC9706 cells. *Chin J Exp Trad Med Formulae*, 23 (5): 162–167 (in Chinese with English abstract) [张胜强, 张洪艳, 黄建伟等(2017). Notch1下调对三叶青黄酮抑制食管癌EC9706细胞迁移和侵袭的影响. *中国实验方剂学杂志*, 23 (5): 162–167]
- Zhang Z, Qu W, Li X (2009). *Experimental Guidance for Plant Physiology*. 4th ed. Beijing: Higher Education Press (in Chinese) [张志良, 瞿伟菁, 李小方(2009). *植物生理学实验指导*. 第4版. 北京: 高等教育出版社]
- Zhao DX, Li MY, XinJ M, et al (1999). Effects of light on cell growth and flavonoids biosynthesis in callus cultures of *Saussurea medusa* Maxim. *Acta Phytophysiol Sin*, 25 (2): 127–132 (in Chinese with English abstract) [赵德修, 李茂寅, 邢建民等(1999). 光质、光强和光期对水母雪莲愈伤组织生长和黄酮生物合成的影响. *植物生理学报*, 25 (2): 127–132]
- Zhong LR, Lin S, Wei KM (2016). Inhibitory effects of radix *Tetrastigma Hemsleyani* flavone on growth and invasion of lung carcinoma cells. *Chin Pharm Bull*, 32 (4): 480–483 (in Chinese with English abstract) [钟良瑞, 林霜, 魏克民(2016). 三叶青黄酮抗肺癌作用研究. *中国药理学通报*, 32 (4): 480–483]
- Zhong LR, Wei KM (2014). Radix *tetrastigma hemsleyani* flavone suppresses human lung carcinoma A549 cell by regulating MAPKs pathway. *Chin Pharm Bull*, 30 (1): 101–104 (in Chinese with English abstract) [钟良瑞, 魏克民(2014). 三叶青黄酮对肺癌A549细胞生长抑制与MAPKs通路关系的研究. *中国药理学通报*, 30 (1): 101–104]
- Zhou CB, Zhang X, Liu BB, et al (2015). The effect of supplementary light quality on physiological characteristics of lettuce. *Plant Physiol J*, 51 (12): 2255–2262 (in Chinese with English abstract) [周成波, 张旭, 刘彬彬等(2015). 补光光质对叶用莴苣光合特性的影响. *植物生理学报*, 51 (12): 2255–2262]

Effect of light quality on photosynthetic characteristics and total flavonoid content in *Tetrastigma hemsleyanum*

HAN Min-Qi^{1,2}, XU Lin-Yu^{1,2}, BAI Yan^{1,2,*}, HU Xiao-Tian^{1,2}, WU Xue-Qian^{1,2}, ZHENG Bing-Song^{1,2}

¹State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China

²School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China

Abstract: To uncover the effect of light quality on photosynthetic characteristics [chlorophyll (Chl) content, net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), transpiration rate (T_r) and intercellular CO_2 concentration (C_i)] and total flavonoid content in *Tetrastigma hemsleyanum*, two-year-old cutting seedlings with primary root tubers were investigated under white plastic film (CK-W), red plastic film (RF), yellow plastic film (YF), green plastic film (GF) and blue plastic film (BF), respectively. The highest contents of Chl *a*, Chl *b*, and Chl *a+b* in *T. hemsleyanum* were detected under RF, and the Chl *a/b* under BF was significantly higher than those under other films. Compared to CK-W treatment, P_n , G_s , T_r and C_i were markedly higher in YF, BF and GF treatments, but were lowest in RF treatment. A “midday break” phenomenon was found in *T. hemsleyanum* during diurnal photosynthesis. P_n was the highest in CK-W and BF treatments with similar variation trends, while was lower under RF. T_r and C_i showed synchronous trends with G_s in diurnal variation. Under CK-W and YF, the total flavonoid contents in leaves were significantly higher than those in other treatments, while the highest content in roots was detected under RF with significantly difference in contrast to other treatments. Therefore, photosynthetic characteristics and total flavonoid content in different parts of *T. hemsleyanum* showed different responses to light quality.

Key words: *Tetrastigma hemsleyanum*; light quality; photosynthetic characteristics; total flavonoid content

Received 2019-01-10 Accepted 2019-04-16

This work was supported by Public Welfare Projects in Zhejiang Province (2015C32096), Key Projects of Zhejiang Science and Technology Department (2017C02012), and Talent Project of Zhejiang A&F University (2016FR010).

*Corresponding author (hzbaiyan@zafu.edu.cn).