

文章编号: 1001-3776 (2016) 01-0032-05

## 4个无花果品种光合特性比较研究

古丽尼沙·卡斯木<sup>1</sup>, 木合塔尔·扎热<sup>2</sup>, 布祖拉·依马木<sup>3</sup>,  
阿卜杜许库尔·牙合甫<sup>2</sup>, 张东亚<sup>1\*</sup>, 艾斯开尔·买海提<sup>4</sup>

(1. 新疆林业科学院园林绿化研究所, 新疆 乌鲁木齐 830063; 2. 新疆林业科学院经济林研究所, 新疆 乌鲁木齐 830063;  
3. 新疆阿图什市林管站, 新疆 阿图什 845350; 4. 新疆克孜勒苏柯尔克孜自治州林管站, 新疆 阿图什 845350)

**摘要:** 以2年生布兰瑞克、日本紫果、B110和新疆早黄4个无花果品种为试材, 2014年测定其光合CO<sub>2</sub>响应曲线参数、叶绿素含量和比叶重。结果表明: 4个无花果品种以布兰瑞克的光呼吸速率( $R_p$ )和CO<sub>2</sub>补偿点(CCP)均最低, 在CO<sub>2</sub>饱和点条件下的 $P_{nmax}$ 最高; 叶绿素含量和比叶重也显著高于其它3个品种, 比较适合设施栽培下的低浓度CO<sub>2</sub>环境及应用CO<sub>2</sub>肥料的高浓度CO<sub>2</sub>环境。

**关键词:** 无花果; 光合CO<sub>2</sub>响应曲线; 叶绿素; 比叶重

中图分类号: S663.3

文献标识码: A

## Comparison on Photosynthetic Properties of 4 Fig Cultivars

GULNISA Kasim<sup>1</sup>, MUHTAR Zari<sup>2</sup>, BUZOHRA Imam<sup>3</sup>, ABDUXUKUR Yakup<sup>2</sup>,  
ZHANG Dong-ya<sup>1</sup>, ASKAR Mahat<sup>4</sup>

(1. Institute of Landscaping, Xinjiang Forestry Academy, Urumqi 830063, China; 2. Institute of Economic Forest, Xinjiang Forestry Academy, Urumqi 830063, China; 3. Atux Forestry Station of Xinjiang, Atux 845350, China;  
4. Kizilsu Kirgiz Forestry Station of Xinjiang, Atux 845350, China)

**Abstract:** Determinations were implemented in 2014 on parameters of photosynthetic CO<sub>2</sub> response curve, chlorophyll content and specific leaf weight of 2-year cuttings of fig (*Ficus carica*) cultivars, namely Brent Rick, Violette Solise, B110 and Xinjiang Zaohuang. The result demonstrated that photorespiration coefficient ( $R_p$ ) and compensation point of CO<sub>2</sub> (CCP) of Brent Rick was the lowest, but the maximum net photosynthetic rate ( $P_{nmax}$ ) was the highest under saturation point of CO<sub>2</sub> (CSP). Meanwhile, the experiment showed that chlorophyll content and specific leaf weight of Brent Rick was significantly higher than the other tested cultivars. Brent Rick showed the highest photosynthetic capacity, may be better for greenhouse cultivation.

**Key words:** *Ficus carica*; photosynthetic-CO<sub>2</sub> response curve; chlorophyll content; specific leaf weight

无花果 (*Ficus carica*) 属于桑科 (Moraceae) 榕属 (*Ficus*), 是既可作药用, 也可供庭园观赏的栽培植物, 原产于地中海沿岸, 分布于土耳其至阿富汗, 我国南北均有栽培, 新疆南部尤多, 其新鲜幼果及鲜叶治疗疗效良好, 榕果味甜可食或作蜜饯<sup>[1]</sup>。无花果含有丰富的多糖、矿物质和多酚类物质, 鲜果中含有 18 种氨基酸, 其中有 8 种是人体必需氨基酸<sup>[2-5]</sup>。近年来, 随着新疆林果业的快速发展, 无花果成为全国著名的新疆特产之一, 虽然面积和产量逐年增加, 仍无法满足日益增多的消费者要求。无花果设施栽培在新疆迅速发展, 但有关的基

收稿日期: 2015-09-11; 修回日期: 2015-12-08

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技支撑计划项目 (201531127)

作者简介: 古丽尼沙·卡斯木 (1968-), 女, 维吾尔族, 新疆沙雅县人, 高级工程师, 从事良种繁育、经济林及园林植物研究工作。

\*通讯作者。

础生理和技术研究仍十分薄弱, 生产中也暴露出了一些问题, 其中突出的是相对封闭设施栽培条件所导致的 CO<sub>2</sub> 匮乏, 进而引起光合效率降低, 产量不高、品质下降、病虫害易发生等问题。CO<sub>2</sub> 浓度成为设施栽培中的限制因子, 选择适宜低 CO<sub>2</sub> 条件的品种、科学实施 CO<sub>2</sub> 施肥技术成为解决这些问题的有效途径。因此, 研究无花果优良品种的光合 CO<sub>2</sub> 响应特性对科学实施 CO<sub>2</sub> 施肥技术, 实现无花果设施栽培产业的可持续发展具有重要的作用。目前, 有关无花果贮藏加工<sup>[6-10]</sup>、药用作用和功能成分<sup>[11-17]</sup>、快速繁殖和栽培技术<sup>[18-20]</sup>、病虫害防治<sup>[21-24]</sup> 等方面已有研究。但是, 对无花果光合特性, 尤其是对其 CO<sub>2</sub> 同化能力的研究尚未见报道。因此, 本研究选择新疆当地品种新疆早黄以及引进品种布兰瑞克、日本紫果和 B110 作为试验对象, 对比其光合-O<sub>2</sub> 响应曲线特征参数、叶绿素含量和比叶重, 以期初步筛选出适宜设施栽培低浓度 CO<sub>2</sub> 环境或应用 CO<sub>2</sub> 肥料的高浓度 CO<sub>2</sub> 环境的无花果品种, 为无花果设施栽培技术的应用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料与立地概况

试验地位于新疆维吾尔自治区阿克苏地区温宿县佳木镇新疆林业科学院佳木试验站无花果汇集圃。阿克苏地区属大陆性干旱荒漠气候, 年降水量 60~90 mm, 蒸发量大, 气候干燥, 光热资源丰富, 太阳总辐射年平均 544.115~590.156 kJ/cm<sup>2</sup>, 日照长, 年日照 2 855~2 967 h, 无霜期 205~219 d, 昼夜温差大。

本试验以布兰瑞克、日本紫果、B110 和新疆早黄 4 个无花果品种为试材, 均为 2012 年栽植的扦插苗, 南北行向, 灌溉方式均为漫灌, 株行距为 1 m×2 m, 均以常规管理方式进行田间管理。于 2014 年 7 月 10 日在试验地选择树势、树冠、枝条数量和干径基本一致的试验树每品种 5 株, 在试验树树干上喷红漆, 并挂牌标志。

### 1.2 测定方法

1.2.1 光合 CO<sub>2</sub> 响应曲线的测定 于 2014 年 7 月 14 日 (天气晴朗) 9:00~12:30 测定, 测定前一天选择试验树树冠中南部的完全功能叶 5 片, 擦干净叶面并挂牌标注。使用 Li-6400 便携式光合测量系统测定无花果每品种光合-CO<sub>2</sub> 响应曲线, 环境因子设定 PFD (LI-6400XT 红蓝光源) 为 1 000 μmol/(m<sup>2</sup>·s), 空气湿度为 (25±5)%, 空气温度为 (30±3) °C, 采用 Li-6400-01 液化 CO<sub>2</sub> 钢瓶提供不同的 CO<sub>2</sub> 浓度, 在 CO<sub>2</sub> 浓度分别为 0、40、50、60、80、100、150、200、300、400、500、800、1 000、1 300、1 500、1 800、2 000 和 2 200 μmol/mol 的条件下测定已挂牌叶片净光合速率 ( $P_n$ , μmol/(m<sup>2</sup>·s)), 重复测定 3 次。光合-CO<sub>2</sub> 响应曲线拟合参考直角双曲线的修正模型<sup>[25]</sup>, 数学表达式如下:

$$A(C_i) = \alpha \frac{1 - \beta C_i}{1 + \gamma C_i} C_i - R_p$$

式中:  $C_i$  为大气 CO<sub>2</sub> 浓度;  $R_p$  为植物的光呼吸速率;  $\alpha$  为 CO<sub>2</sub> 响应曲线上  $C_i = 0$  处的斜率, 即为植物的初始羧化效率, 系数  $\gamma = \alpha/A_{max}$  (此处的  $A_{max}$  是用胞间 CO<sub>2</sub> 响应的直角双曲线修正模型计算的植物光合能力),  $\beta$  为修正因子。使用此模型计算出 RuBP 羧化效率 (CE, μmol/(m<sup>2</sup>·s))、CO<sub>2</sub> 补偿点 (CCP, μmol/mol)、光呼吸速率 ( $R_p$ , μmol/(m<sup>2</sup>·s))、最大净光合速率 ( $P_{nmax}$ , μmol/(m<sup>2</sup>·s)) 和 CO<sub>2</sub> 饱和点 (CSP, μmol/mol)。

1.2.2 叶绿素含量的测定 叶绿素含量的测定采用分光光度计法<sup>[26]</sup>。每个品种各选 5 株试验树总测 10 张叶片。取有代表性待测成熟新鲜样叶, 擦去叶表面上的污物和泥土, 用膜片切取 1 cm<sup>2</sup> 样品, 再切成小块放入试管中立即加入 95%乙醇溶液 5 mL, 塞紧管盖, 置于黑暗处过夜。待鲜叶由绿色变为白色, 分别在 649 nm 和 665 nm 下测其光密度值。按下式计算叶绿素 a ( $C_a$ )、叶绿素 b ( $C_b$ ) 和总叶绿素 ( $C_{a+b}$ ) 含量。

$$C_a = 13.95 \times D_{665} - 6.88 \times D_{649}$$

$$C_b = 24.96 \times D_{649} - 7.32 \times D_{665}$$

$$\text{错误! 未定义书签。 } C_{a+b} = M \times V_1 \times N / V$$

式中,  $D$  为在某一波段的光密度值,  $M$  为色素浓度,  $V_1$  为提取液体积 (mL),  $N$  为稀释倍数,  $V$  为样品体积。

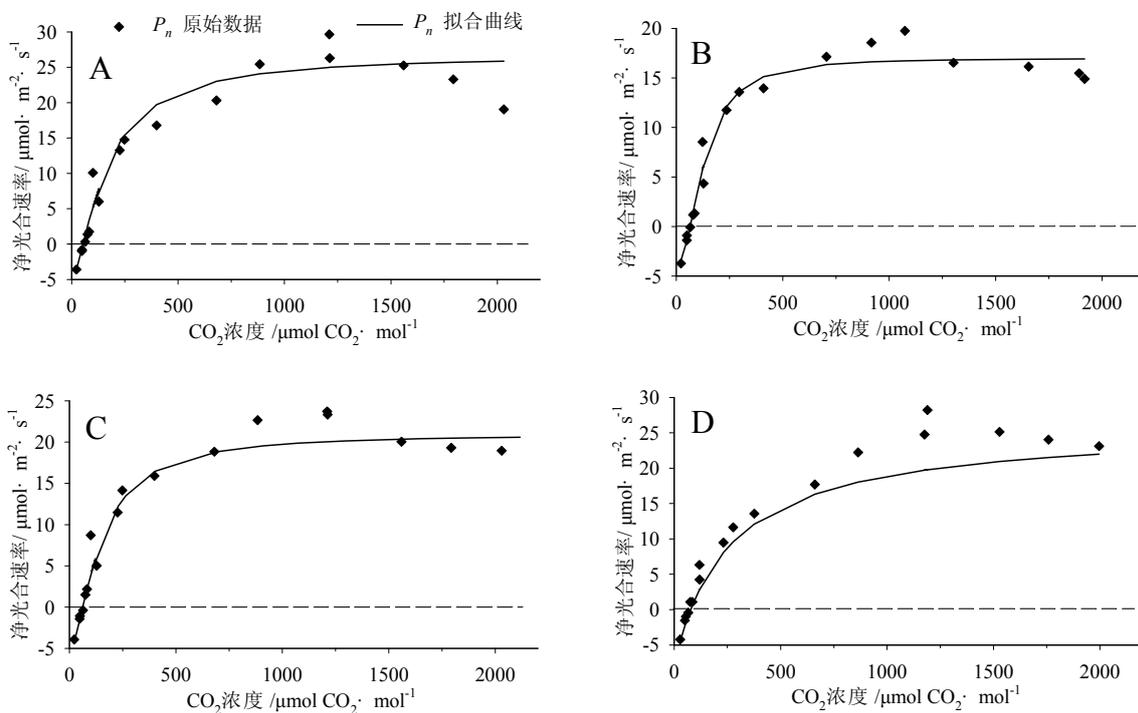
1.2.3 比叶重的测定 叶片的长宽度和叶面积采用 CI-203 手持式激光叶面积仪 (CID, USA) 测定, 测定时每片叶做 5 次重复, 每个品种共选 3 株树总测 6 张叶片。叶面积测完后装入牛皮纸带回实验室在烘干箱中烘干 (80℃) 至恒重, 然后测干重。比叶重是叶片干重与其叶面积的比值。

### 1.3 统计方法

本试验所有数据用 SPSS 16.0 统计软件进行单因素方差分析, 方差显著的置信区间为  $P < 0.05$ 。用 SigmaPlot 12.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同无花果品种光合 $\text{CO}_2$ 响应曲线



A: 布兰瑞克; B: 日本紫果; C: B110; D: 新疆早黄

图 1 4 个无花果品种光合  $\text{CO}_2$  响应曲线的差异

Figure 1 Photosynthetic- $\text{CO}_2$  response curve of 4 fig cultivars

由图 1 可以看出, 随着  $\text{CO}_2$  浓度的升高, 4 个无花果品种净光合速率均呈现出先快速上升后逐渐稳定的变化趋势, 但上升斜率和稳定的最高点有所差异 (见表 1)。4 个品种 CSP 的大小顺序为新疆早黄 > B110 > 布兰瑞克 > 日本紫果, 新疆早黄 CSP 显著高于日本紫果和布兰瑞克 (表 1)。在 CSP 条件下, 布兰瑞克的最大净光合速率显著高于其余 3 个品种, B110 也显著高于新疆早黄和日本紫果。4 个品种  $R_p$  新疆早黄最高, 显著高于 B110、日本紫果和布兰瑞克, B110 与布兰瑞克的  $R_p$  也有显著差异。4 个品种 CE 的大小顺序为布兰瑞克 > B110 > 日本紫果 > 新疆早黄, 布兰瑞克的 CE 显著高于其余 3 个品种, 日本紫果和 B110 的 CE 也显著高于新疆早黄。

表 1 4 个无花果品种光合- $\text{CO}_2$  响应曲线参数

Table 1 Parameters of photosynthetic- $\text{CO}_2$  response curve of 4 fig cultivars

品种	$\text{CO}_2$ 饱和点 / $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	$\text{CO}_2$ 补偿点 / $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	光呼吸速率 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	RuBP 羧化效率	最大光合速率 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	拟合方程的决定系数 / $R^2$
布兰瑞克	1256.0±56.8 bc	52.494±1.91 c	-3.601±0.174 c	0.085±0.005 a	28.628±1.36 a	0.829
日本紫果	1200.0±53.0 c	61.788±2.68 b	-3.735±0.264 bc	0.075±0.003 b	20.809±2.80 c	0.891
B110	1310.0±49.2 ab	58.281±4.53 b	-3.916±0.238 ab	0.077±0.003 b	25.082±1.09 b	0.883
新疆早黄	1380.0±62.4 a	67.322±4.03 a	-4.217±0.411 a	0.067±0.005 c	20.809±1.53 c	0.821

注: 不同小写字母表示品种间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

4 个品种 CCP 新疆早黄最大, 达 67.322  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ , 显著高于其余 3 个品种。

## 2.2 不同无花果品种叶绿素含量和比叶重

由表 2 可见, 4 个品种中, 布兰瑞克叶片中的叶绿素 a 含量最高, 显著高于其它 3 个品种, 而其它 3 个品种间均无显著差异。布兰瑞克的叶绿素 b 含量显著高于其它 3 个品种, B110 次之, 新疆早黄为最低。新疆早黄的叶绿素 a/叶绿素 b 最高, 与布兰瑞克和日本紫果相比差异不显著, 但显著高于 B110。4 个品种叶片中叶绿素 (a+b) 含量的高低顺序为布兰瑞克 > B110 > 日本紫果 > 新疆早黄, 布兰瑞克显著高于其它 3 个品种, 而其它 3 个品种间均无显著差异。布兰瑞克的比叶重显著高于其它 3 个品种, 日本紫果次之, 新疆早黄最低。

表 2 4 个无花果品种叶绿素含量和比叶重  
Table 2 Chl orophyll content and specific leaf weight of 4 fig cultivars

品种名称	叶绿素 a /mg·cm <sup>-2</sup>	叶绿素 b /mg·cm <sup>-2</sup>	叶绿素 a/b	总叶绿素 /mg·cm <sup>-2</sup>	比叶重 /g·cm <sup>-2</sup>
布兰瑞克	49.994 ± 2.693 a	14.650 ± 1.072 a	3.417 ± 0.092 ab	64.644 ± 3.736 a	0.012 2 ± 0.001 1 a
日本紫果	33.731 ± 2.016 b	10.476 ± 1.091 bc	3.234 ± 0.216 ab	44.207 ± 2.961 b	0.009 9 ± 0.000 3 b
B110	36.200 ± 0.780 b	11.650 ± 0.923 b	3.121 ± 0.240 b	47.850 ± 1.343 b	0.009 3 ± 0.001 0 b
新疆早黄	33.947 ± 3.509 b	9.688 ± 1.378 c	3.520 ± 0.214 a	43.634 ± 4.833 b	0.009 1 ± 0.000 5 b

## 2.3 不同无花果品种光合 CO<sub>2</sub> 响应曲线参数与叶绿素含量、比叶重的相关性分析

由表 3 可知,  $R_p$  和 CE 与叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素 (a+b) 含量和比叶重间均呈正相关, 而与叶绿素 a/叶绿素 b 间呈负相关, 其中 CE 与叶绿素 b 含量间的相关系数最大, 但均未达显著水平。CCP 和 CSP 与叶绿素 a/叶绿素 b 间均呈正相关, 但相关系数未达显著水平, 而 CCP 和 CSP 与叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素 (a+b) 含量、比叶重间均呈负相关, 其中 CCP 与叶绿素 b 含量间的相关性达到显著水平。4 个无花果品种的最大净光合速率与叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素 a/叶绿素 b、叶绿素 (a+b) 含量和比叶重间均呈正相关, 但均未达显著水平, 其中与叶绿素 a 间的相关系数较大, 与总叶绿素含量间的相关系数次之。

表 3 4 个无花果品种光合-CO<sub>2</sub> 响应曲线参数与叶绿素含量、比叶重的相关性  
Table 3 Correlation of parameters of photosynthetic- CO<sub>2</sub> response curve with chlorophyll content and specific leaf weight of 4 fig cultivars

指标	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素 a/叶绿素 b	总叶绿素	比叶重
光呼吸速率	0.666	0.764	-0.320	0.691	0.809
RuBP 羧化效率	0.853	0.949	-0.262	0.879	0.864
CO <sub>2</sub> 补偿点	-0.857	-0.959*	0.277	-0.885	-0.830
CO <sub>2</sub> 饱和点	-0.233	-0.346	0.448	-0.260	-0.484
最大净光合速率	0.660	0.532	0.608	0.636	0.433

注: \*表示对应两个指标在  $P < 0.05$  水平下显著相关。

## 3 讨论

光合作用是植物生长发育和产量形成的基础, 提高叶片的光合性能是植物高产的重要途径。植物的光合-CO<sub>2</sub> 响应曲线反映光合速率随着 CO<sub>2</sub> 浓度的变化特性, 对于判定植物在不同浓度 CO<sub>2</sub> 环境下的光合能力非常有效<sup>[27]</sup>。在光合作用暗反应中 RuBP 羧化酶起着重要作用, 光合-CO<sub>2</sub> 响应曲线所得到的 CE 在一定程度上能够反应 RuBP 羧化酶的含量和活性强弱<sup>[28]</sup>。本研究结果表明, 4 个无花果品种中, 布兰瑞克的  $R_p$  和 CCP 均最低, 这与较高的 CE 有关; 在 CO<sub>2</sub> 饱和点条件下的  $P_{n\text{max}}$  也最高, 说明布兰瑞克不仅在较低的 CO<sub>2</sub> 浓度条件下能进行正光合, 而且在高浓度的 CO<sub>2</sub> 条件下, 也能保持较高的 CO<sub>2</sub> 同化效率。叶绿素是光合作用的物质基础, 其含量的高低决定叶片功能期的长短并与  $P_n$  直接相关<sup>[29]</sup>; 比叶重不仅与光合产物的积累有关, 而且是衡量叶片光合作用性能的重要参数, 与叶片的光合作用有着密切联系<sup>[30]</sup>。通过对 4 个无花果品种的叶绿素含量和比叶重综合分析得知, 布兰瑞克的叶绿素含量和比叶重显著高于其它品种, 说明该品种单位面积叶片中叶绿素的密度较高, 具有较强的光能捕获能力。

4 个无花果品种中, 布兰瑞克的 RuBP 羧化效率最大, CO<sub>2</sub> 补偿点最低, 在 CO<sub>2</sub> 饱和点下的 CO<sub>2</sub> 同化效率最大, 且叶绿素含量和比叶重均明显高于其它品种, 具有相对强的光合生产力, 比较适合设施栽培下的低浓度 CO<sub>2</sub> 环境及应用 CO<sub>2</sub> 肥料的高浓度 CO<sub>2</sub> 环境。

## 参考文献:

- [1] 吴征镒. 中国植物志 第23(1)卷[M]. 北京: 中国科学出版社, 1998. 124.
- [2] Melgarejo P, Manuel Salazar D, Artes F. Organic acids and sugars composition of harvested pomegranate fruits [J]. *Eu Food Res Technol*, 2000 (211): 185–190.
- [3] Genna A, Vecchi P De, Maestrelli A, *et al.* Quality of 'DOTTATO' dried figs grown in the Cosenza region, Italy. A sensory and physical-chemical approach[J]. *Acta Hor*, 2008 (798): 319–323.
- [4] Piga A, Del Caro A, Milella G, *et al.* HPLC analysis of polyphenols in peel and pulp of fresh figs [J]. *Acta Hor*, 2008 (798): 301–306.
- [5] De Caro A, Piga A. Polyphenol composition pulp of two Italian fresh fig fruits cultivars (*Ficus carias* L.) [J]. *Eu Food Res Technol*, 2007(7): 581–584
- [6] 滑艳稳, 申亚倩, 安永超. 不同保鲜薄膜对无花果保鲜性能的比较研究[J]. *包装学报*, 2014, 6(2): 6–11, 40.
- [7] 赵丛枝, 寇天舒, 张子德. 发酵型无花果果酒加工工艺的研究[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(13): 79–82.
- [8] 王磊, 张子德, 张晓娜, 等. 1-MCP处理对无花果采后乙烯生物合成代谢的影响[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(4): 119–124.
- [9] 王磊, 张子德, 赵丛枝, 等. 响应面法优化超临界CO<sub>2</sub>萃取无花果种籽油工艺研究[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(1): 37–43.
- [10] 赵丛枝, 苑社强, 王磊, 等. 响应面法优化超临界CO<sub>2</sub>提取无花果多糖工艺[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(7): 46–52.
- [11] 郑岩, 王红霞, 陈随清. 无花果叶中补骨脂素含量测定[J]. *中国民族民间医药*, 2014, 23(2): 13–14.
- [12] 王海燕, 刘炳波, 郭爱新, 等. 无花果叶熏洗联合针灸治疗痔疮45例临床观察[J]. *中国中医基础医学杂志*, 2013, 19(10): 1181–1183.
- [13] 徐坤, 苗明三. 无花果多糖对氢化可的松致免疫抑制小鼠免疫功能的影响[J]. *中医学报*, 2011, 26(3): 324–325.
- [14] 杨润亚, 明永飞, 王慧, 等. 无花果叶中总黄酮的提取及其抗氧化活性测定[J]. *食品科学*, 2010, 31(16): 78–82.
- [15] 王力男, 王勤, 苗明三. 无花果多糖对环磷酰胺致免疫抑制小鼠免疫功能的影响[J]. *中医学报*, 2010, 25(4): 676–678.
- [16] 解美娜, 庄文欣. 无花果叶超声提取物体外诱导肝癌HepG2细胞凋亡[J]. *生命科学研究*, 2010, 14(6): 523–527.
- [17] 张英, 田源红, 王建科, 等. 不同产地无花果中微量元素的研究[J]. *微量元素与健康研究*, 2010, 27(5): 17–19.
- [18] 李金凤, 糜林, 陈雪平, 等. 麦斯衣陶芬无花果离体快速增殖研究[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(11): 73–75.
- [19] 李金平, 柴丽娟, 董元元, 等. 电热温床处理无花果硬枝扦插生根的植物激素水平分析[J]. *中国农业大学学报*, 2014, 19(4): 81–85.
- [20] 马娜, 齐琳, 巢克昌, 等. 无花果高密免农药省力栽培技术[J]. *中国果树*, 2014(5): 66–68.
- [21] 王颖, 张彦周, 邓塋, 等. 阔柄跳小蜂属一新种(膜翅目: 跳小蜂科)-入侵害虫无花果蜡蚧的重要天敌[J]. *环境昆虫学报*, 2014, 36(3): 451–454.
- [22] 白玉梅, 徐超, 杨鹤同. 无花果疫霉果腐病的化学防治[J]. *林业科技开发*, 2014, 28(3): 134–136.
- [23] 范昆, 张雪丹, 余贤美, 等. 无花果炭疽病菌的生物学特性及8种杀菌剂对其抑制作用[J]. *植物病理学报*, 2013, 43(1): 75–81.
- [24] 李海斌, 武三安. 外来入侵新害虫—无花果蜡蚧[J]. *应用昆虫学报*, 2013, 50(5): 1295–1300.
- [25] 叶子飘, 于强. 光合作用对胞间和大气CO<sub>2</sub>响应曲线的比较[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(11): 2233–2238.
- [26] 邹琦. *植物生理学实验指导*[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [27] 童方平, 徐艳平, 宋庆安. 湿地松优良半同胞家系光和CO<sub>2</sub>响应曲线特征参数的变异规律[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2009, 33(1): 54–58.
- [28] 睦晓蕾, 张振贤, 张宝玺, 等. 不同基因型辣椒光合及生长特性对弱光的响应[J]. *应用生态学报*, 2010, 17(10): 1877–1882.
- [29] 何春霞, 李吉跃, 张燕香, 等. 5种绿化树种叶片比叶重、光合色素含量和 $\delta^{13}\text{C}$ 的开度与方位差异[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(2): 134–143.
- [30] 冯玉龙, 曹坤芳, 冯志立, 等. 四种热带雨林树种幼苗比叶重, 光合特性和暗呼吸对生长光环境的适应[J]. *生态学报*, 2002, 22(6): 901–910.