

# 东魁杨梅叶片次生代谢产物对光照与水分胁迫的响应

杨蓓芬, 李钧敏

(台州学院 生态研究所, 浙江 临海 317000)

**摘要:** 对不同光照强度和土壤含水量下栽培的东魁杨梅幼苗叶片的总黄酮、总鞣质、总绿原酸和游离蒽醌的含量进行了测定和分析。结果表明, 不同光照强度下, 东魁杨梅幼苗叶片的总黄酮、总鞣质、总绿原酸和游离蒽醌含量的变化规律具有一定的差异, 各光强处理总黄酮的含量表现为 1 层遮荫(光照强度约为全光照的 4%) > 全光照 > 2 层遮荫(光照强度约为全光照的 18%) > 3 层遮荫(光照强度约为全光照的 6%); 总绿原酸和总鞣质的含量均为全光照 > 1 层遮荫 > 3 层荫 > 2 层遮荫; 游离蒽醌的含量为 2 层遮荫 > 1 层遮荫 > 全光照 > 3 层遮荫。全光照有利于总绿原酸、总鞣质的合成积累, 1 层遮荫有利于总黄酮的合成积累, 2 层遮荫有利于游离蒽醌的合成积累, 含量分别为  $(99.6 \pm 8.44) \text{g/kg}$ 、 $(16.1 \pm 0.41) \text{g/kg}$ 、 $(27.6 \pm 0.42) \text{g/kg}$ 、 $(0.169 \pm 0.0165) \text{g/kg}$ 。不同土壤含水量下东魁杨梅叶片总黄酮、总绿原酸、总鞣质、游离蒽醌含量的变化规律存在一定的差异。土壤水分供应充分有利于东魁杨梅叶片中总绿原酸、总鞣质和游离蒽醌的合成积累, 但不利于总黄酮的合成积累; 适宜土壤含水量有利于总黄酮的合成积累; 轻度水分胁迫对次生代谢产物含量的影响不明显, 中度水分胁迫可提高东魁杨梅总黄酮、总绿原酸、总鞣质、游离蒽醌等次生代谢产物含量的合成积累。

**关键词:** 东魁杨梅; 叶片; 光照; 土壤含水量; 次生代谢

中图分类号: S667 文献标识码: A 文章编号: 1004-3268(2011)07-0118-05

## Responses of the Secondary Metabolites Contents in the Leaves of *Myrica rubra* cv. Dongkui to Light and Water Stress

YANG Bei-fen, LI Jun-min

(Ecology Institute of Taizhou University, Linhai 317000, China)

**Abstract:** The contents of 4 secondary metabolites, such as flavonoids, tannins, chlorogenic acids and anthraquinones in the leaves of *Myrica rubra* cv. Dongkui under different light intensity and soil water contents were determined by spectrophotometer analysis, respectively. The results showed: The rules of the change of 4 secondary metabolites, such as flavonoids, tannins, chlorogenic acids and anthraquinones, under different light intensity were different. The order of contents of flavonoids was: 1 layer > 0 layer > 2 layers > 3 layers. The order of contents of tannin and chlorogenic acid was: 0 layer > 1 layer > 3 layers > 2 layers. The order of content of anthraquinones was: 2 layers > 1 layer > 0 layer > 3 layers. Full light could benefit the accumulation of total chlorogenic acid and tannins. One layer shading could benefit the accumulation of total flavonoids, while 2 layer shading could increase the synthesis accumulation of anthraquinones, their contents were  $(99.6 \pm 8.44) \text{g/kg}$ ,  $(16.1 \pm 0.41) \text{g/kg}$ ,  $(27.6 \pm 0.42) \text{g/kg}$ ,  $(0.169 \pm 0.0165) \text{g/kg}$ , respectively. The rules of the change of 4 secondary metabolites, such as flavonoids, tannins, chlorogenic acids and anthraquinones, under different soil water contents were different. The enough water could benefit the accumulation of total chlorogenic acids, tannins and anthraqui-

收稿日期: 2011-02-20

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(Y5090253); 浙江省教育厅项目(Y200804151)

作者简介: 杨蓓芬(1965-), 女, 浙江临海人, 副教授, 主要从事植物学教学与研究工作。E-mail: ybf002@tzc.edu.cn

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

nones in the leaves, but inhibit the accumulation of flavonoids. Suitable soil water content could benefit the total flavonoids. Light water stress showed that there was effect on the accumulation of the secondary metabolites while medium water stress could increase the accumulation of the secondary metabolites in the leaves of *Myrica rubra* cv. Dongkui.

**Key words:** *Myrica rubra* cv. Dongkui; Leaves; Light; Soil water content; Secondary metabolites

植物的次生代谢产物(plant secondary metabolites)是指植物中一大类并非植物生长发育所必需的小分子有机化合物,是植物在长期进化中对生态环境适应的结果,对植物在其生态系统中的生存起作用<sup>[1]</sup>。近年来,植物次生代谢产物成为研究热点,许多研究表明,逆境胁迫可以显著促进植物次生代谢产物的合成,次生代谢产物在协调与环境的关系上充当着重要角色。土壤水分含量的多少会影响次生代谢产物的种类和含量,如水分胁迫增加了叶片干质量中芦荟苷的含量<sup>[2]</sup>,促进银杏叶片中槲皮素含量的增加,却抑制芦丁含量的增加<sup>[3]</sup>。光是植物次生代谢产物形成和积累必不可少的条件,光照强度对植物次生代谢产物的积累作用不同,有的起促进作用,有的起抑制作用,不同植物次生代谢产物合成的最适光照强度也不同,如野生状态下,强光区生长的朝鲜淫羊藿的淫羊藿苷含量是弱光区的6.93倍<sup>[4]</sup>;弱光导致高山红景天中红景天苷含量急剧下降<sup>[5]</sup>。另外,温度、大气环境、海拔高度对次生代谢也有影响<sup>[6-9]</sup>。

杨梅<sup>[10]</sup> (*Myrica rubra* Sieb et Zucc.)属于杨梅科杨梅属,亚热带常绿果树,乔木。杨梅除了食用外,其树皮具燥湿疗疮,涩肠止泻,活血止痛的功效,植株是园林和防火道的主要树种。目前,对杨梅的研究除了栽培技术外,主要集中在果实的保鲜技术上,而对杨梅次生代谢产物的研究主要集中在贵州矮杨梅这一杨梅品种上。东魁杨梅(*Myrica rubra* cv. Dongkui)发源于浙江省台州市黄岩区,果实之大世上罕见,是目前我国乃至世界上最大的杨梅,素有“杨梅王”之称。1998年东魁杨梅荣获“浙江省优质农产品金奖”,1999年获(北京)国际农博会名牌产品;近几年来在全国各地广为推广种植,是农村致富奔小康发展效益农业的特色产业。查阅文献发现,对东魁杨梅这一品种的研究主要集中在优质高效栽培技术、嫁接技术、管理技术、果实保鲜技术等方面<sup>[11-14]</sup>。本研究通过测定不同光照强度和不同土壤含水量下东魁杨梅叶片中总黄酮、总绿原酸、总鞣质、游离蒽醌的含量,探讨东魁杨梅叶片的次生代谢产物含量对不同光照强度和不同土壤含水量的响应,为东魁杨梅的进一步推广和开发提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料的采集和处理

2007年2月从浙江省台州市黄岩区(东魁杨梅原产地)购买东魁杨梅幼苗(已嫁接的),带回学校种在花盆中(每盆土壤质量均为10kg)。于2007年6月将幼苗分成8等份,每份均包括5棵生长相对均一的杨梅幼苗,并对每1棵幼苗的同生群叶片进行标记,其中4份分别放在自然光下(光照强度为100%,即全光照)、覆盖1层遮阳网下(光照强度约40%)、覆盖2层遮阳网下(光照强度约18%)、覆盖3层遮阳网下(光照强度约6%)进行栽培,另4份均栽培在自然光照条件下,用称量的方法使它们的土壤含水量分别为土壤最大持水量的85%(充分供水条件)、70%(适宜土壤含水量)、55%(轻度干旱)、40%(中度干旱),每隔1d称量分别补足散失的水分。50d后分别将标记的同生叶采下,迅速用保鲜袋封装,带回实验室,洗净,放入105℃的干燥恒温箱中杀青25min,然后转入80℃的烘箱干燥至恒定质量。干燥后用粉碎机将样品粉碎,并过直径0.25mm筛,放入干燥器中备用。

### 1.2 次生代谢产物的测定方法

1.2.1 总黄酮的提取和测定<sup>[15]</sup> 精确称取1.1处理备用的样品各0.1g,分别放入50mL的磨口回流瓶中,加入5mL无水甲醇,80℃水浴回流提取2h,离心取上清液,定容至25mL,取1mL,置10mL离心管中,加入4mL 0.1mol/L三氯化铝-甲醇溶液,摇匀,以试剂空白为对照,在420nm处测定吸光值。

1.2.2 总绿原酸的提取与测定<sup>[16]</sup> 精确称取1.1处理备用的样品各0.1g,加入95%乙醇5mL回流提取1.5h,离心取上清液,定容至25mL,取1mL,置25mL容量瓶中,加入0.2mol/L HCl定容至刻度,摇匀,以试剂空白为对照,在324nm处测定吸光值。

1.2.3 总鞣质的提取和测定<sup>[17]</sup> 精确称取1.1处理的样品各0.1g,放入锥形瓶中,加入蒸馏水30mL,用恒温电炉加热至微沸(加热过程中根据实际情况不断用滴管添加热的蒸馏水,防止干燥),30min后取下,待冷却至室温后过滤,取上清液,定

容至 10 mL, 以试剂空白为对照, 在 276 nm 处测定吸光值。

1.2.4 游离蒽醌的提取和测定<sup>[18]</sup> 精确称取 1.1 处理备用的样品各 0.1 g, 加入氯仿 5 mL, 70℃水浴回流提取 2 h, 离心取上清液放入 10 mL 离心管中, 再 70℃水浴加热使氯仿挥发, 然后用 0.5% 醋酸镁—甲醇溶液定容至 25 mL, 摇匀, 以试剂空白为对照, 在 498 nm 处测定吸光值。

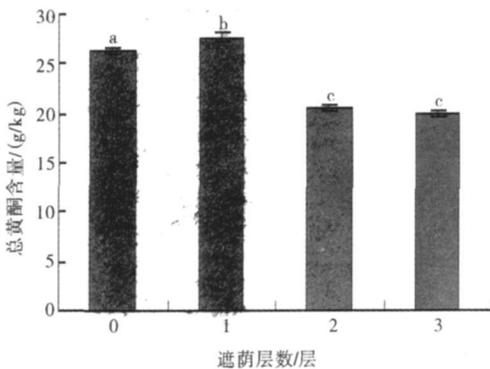
### 1.3 数据处理

数据测定均重复 3 次, 数据的处理采用 Excel 和 SPSS 11.5 for Windows 软件进行计算, 数据采用平均数±标准差的形式表示, 差异性采用单因素方差分析(One way ANOVA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同光照强度下东魁杨梅幼苗叶片次生代谢产物的含量

不同光照强度下测定的东魁杨梅幼苗叶片次生代谢产物含量以及次生代谢产物含量的多层分析结果见图 1—图 4。比较图 1—图 4 中次生代谢产物的含量, 在不同光照强度下东魁杨梅叶片总黄酮、总绿原酸、总鞣质、游离蒽醌的含量均存在一定的差异。



注: 图中不同字母表示在 0.05 水平差异显著, 下同  
图 1 不同光照强度下东魁杨梅叶片的总黄酮含量

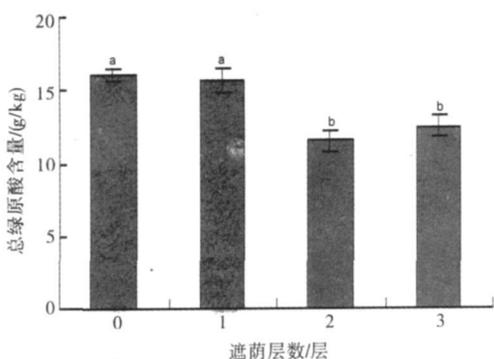


图 2 不同光照强度下东魁杨梅叶片的绿原酸含量

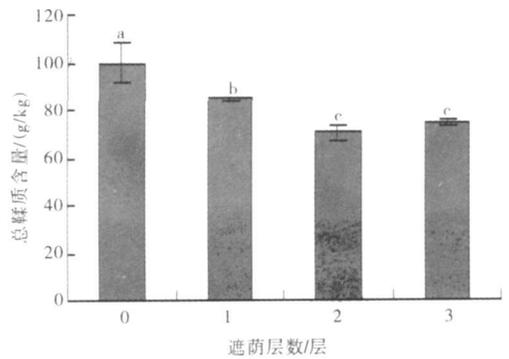


图 3 不同光照强度下东魁杨梅叶片总鞣质的含量

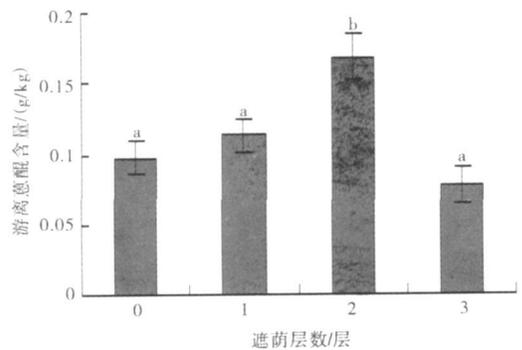


图 4 不同光照强度下东魁杨梅叶片游离蒽醌含量

2.1.1 不同光照强度下叶片总黄酮的含量 各处理总黄酮的含量从高到低依次为 1 层遮荫、全光照、2 层遮荫、3 层遮荫, 以 1 层遮荫条件下栽培的东魁杨梅叶片中总黄酮的含量最高, 为  $(27.6 \pm 0.42)$  g/kg, 最低为 3 层遮荫, 为  $(20.0 \pm 0.22)$  g/kg。叶片总黄酮的含量并不是随着光照强度的增加而线性增加, 而是存在一个最适光照强度, 处在最适光照强度下的叶片总黄酮含量最高, 大于或小于最适光照强度则总黄酮的含量下降。栽培在 2 层遮荫与 3 层遮荫环境下东魁杨梅, 叶片总黄酮含量不存在显著差异, 其他不同光照强度的环境下栽培的东魁杨梅叶片总黄酮含量两两之间均存在显著差异。

2.1.2 不同光照强度下叶片总绿原酸的含量 各处理叶片总绿原酸的含量从高到低依次为全光照、1 层遮荫、3 层遮荫、2 层遮荫, 总绿原酸的含量最高为  $(16.1 \pm 0.41)$  g/kg, 最低为  $(11.5 \pm 0.71)$  g/kg, 表明总绿原酸含量在光照强度较强的情况下, 随着光照强度的减弱而减弱; 当光照强度下降到较低时, 它的含量又有所上升, 但含量仍然较低。栽培在全光照与 1 层遮荫环境下和栽培在 2 层遮荫与 3 层遮荫环境下, 叶片总绿原酸含量不存在显著差异, 其他两种光照环境下栽培的东魁杨梅叶片总绿原酸含量之间存在显著差异。

2.1.3 不同光照强度下叶片总鞣质的含量 东魁杨梅叶片总鞣质的含量随着光照强度的变化规律与绿

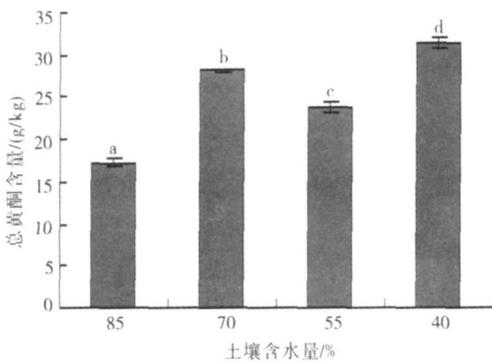
原酸相同。总鞣质的含量最高是全光照条件下栽培的东魁杨梅, 为  $(99.6 \pm 8.44) \text{g/kg}$ , 最低的为 2 层遮荫条件下栽培的东魁杨梅, 为  $(70.7 \pm 3.17) \text{g/kg}$ 。总鞣质的含量在不同光照条件下栽培的东魁杨梅叶片中的差异性与总黄酮的差异性的变化相同。

2.1.4 不同光照强度下叶片游离蒽醌的含量 东魁杨梅幼苗叶片游离蒽醌的含量从高到低依次为 2 层遮荫、1 层遮荫、全光照、3 层遮荫, 与总黄酮、总绿原酸、总鞣质的含量相比, 它的含量较少, 最高为 2 层遮荫的, 最低为 3 层遮荫的, 分别为  $(0.169 \pm 0.0165) \text{g/kg}$  和  $(0.077 \pm 0.0129) \text{g/kg}$ 。表明东魁杨梅中蒽醌的合成需要的光照强度较弱, 它的合成受强光的抑制。栽培在 2 层遮荫条件的东魁杨梅叶片中游离蒽醌的含量与其他光照环境下栽培的之间均存在显著差异性, 而栽培在其他光照条件下的, 两两之间均没有显著差异性。

研究结果表明, 全光照有利于总绿原酸、总鞣质的合成积累, 1 层遮荫有利于总黄酮的合成积累, 2 层遮荫有利于游离蒽醌的合成积累。

2.2 不同土壤含水量下东魁杨梅幼苗叶片次生代谢产物的含量

不同土壤含水量下栽培的东魁杨梅幼苗叶片次生代谢产物含量的测定结果见图 5—图 8。在不同土壤含水量下东魁杨梅叶片总黄酮、总绿原酸、总鞣质、游离蒽醌的含量均存在一定的差异。



图中不同字母表示在 0.05 水平差异显著, 下同  
图 5 不同土壤含水量下东魁杨梅叶片黄酮含量

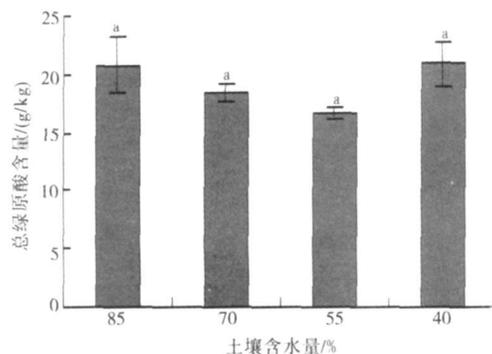


图 6 不同土壤含水量下东魁杨梅叶片绿原酸含量

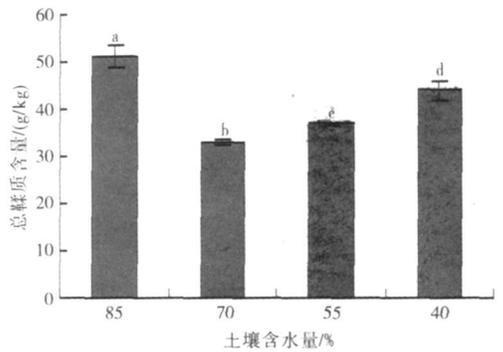


图 7 不同土壤含水量下东魁杨梅叶片鞣质含量

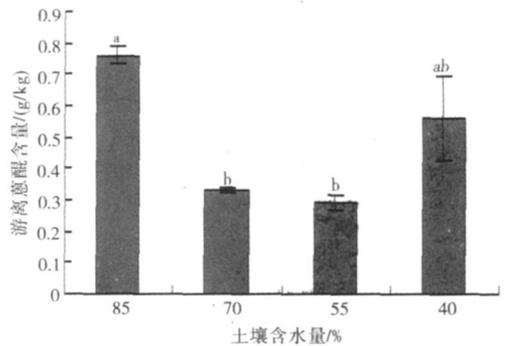


图 8 不同土壤含水量下东魁杨梅叶片游离蒽醌含量

2.2.1 总黄酮 从图 5 可以看出, 在不同土壤含水量环境下, 东魁杨梅叶片总黄酮的含量从高到低依次为 40% 土壤含水量、70% 土壤含水量、55% 土壤含水量、85% 土壤含水量。不同土壤含水量环境下栽培东魁杨梅叶片总黄酮含量两两之间均存在显著差异性。表明中度水分胁迫有利于东魁杨梅叶片总黄酮的合成和积累。

2.2.2 总绿原酸 从图 6 可以看出, 在不同土壤含水量环境下, 东魁杨梅叶片总绿原酸的含量从高到低依次为 40% 土壤含水量、85% 土壤含水量、70% 土壤含水量、55% 土壤含水量; 东魁杨梅叶片中总绿原酸含量, 在两两不同土壤含水量环境下均不存在显著的差异性。表明水分充足、水分适宜、轻度胁迫、中度胁迫的土壤环境对东魁杨梅叶片绿原酸含量的合成积累影响不明显。

2.2.3 总鞣质 从图 7 可以看出, 在不同土壤含水量环境下, 东魁杨梅叶片总鞣质的含量从高到低依次为 85% 土壤含水量、40% 土壤含水量、55% 土壤含水量、70% 土壤含水量。不同土壤含水量环境下栽培东魁杨梅叶片总鞣质的差异性与总黄酮的变化规律相同, 即不同含水量环境下栽培的叶片总鞣质含量的两两之间均存在显著差异。说明充足的土壤含水量, 有利于东魁杨梅叶片中总鞣质的合成积累。

2.2.4 游离蒽醌 从图 8 可以看出, 在不同土壤含水量下, 东魁杨梅叶片游离蒽醌的含量从高到低依

次为 85% 土壤含水量、40% 土壤含水量、70% 土壤含水量、55% 土壤含水量; 水分充足条件下, 叶片中游离蒽醌的含量与水分适宜、轻度干旱条件下的存在显著差异, 其他不同水分环境处理之间均没有显著差异。

研究结果表明, 土壤水分供应充分有利于东魁杨梅叶片中总绿原酸、总鞣质和游离蒽醌的合成积累, 但不利于总黄酮的合成积累; 轻度水分胁迫对次生代谢产物含量的影响不明显, 中度水分胁迫可提高东魁杨梅总黄酮、总绿原酸、总鞣质、游离蒽醌等次生代谢产物的合成积累。

### 3 结论和讨论

在自然环境条件下, 植物在一定程度上可对环境胁迫产生响应。次生代谢及其产物是植物对环境胁迫响应的物质基础<sup>[19]</sup>。如植物在高温环境胁迫下, 花青素显著积累有利于增加植物对水分的吸收和减少蒸腾<sup>[20]</sup>, 由紫外光辐射诱导产生的酚类等次生代谢产物可吸收紫外光, 具有增强植物的抗氧化能力、减少紫外光辐射对植物自身的伤害和影响枯枝落叶的分解功能<sup>[21]</sup>。

本研究结果显示, 1 层遮荫、水分适宜和中度的水分胁迫有利于东魁杨梅叶片中总黄酮含量的合成积累; 全光照、水分充足和适度水分胁迫有利于叶片总绿原酸、总鞣质的合成积累; 2 层遮荫、水分充足和中度的水分胁迫有利于叶片游离蒽醌的合成积累。这些结果说明, 东魁杨梅总黄酮的合成积累存在一个最适的光照强度, 这一结果与文献[17] 结果一致; 叶片总绿原酸、总鞣质、游离蒽醌的合成积累在全光照、水分充足和适度水分胁迫环境下均较高, 表明全光照、水分充足和适度水分胁迫环境条件对东魁杨梅生长均具有一定的抑制作用, 东魁杨梅适宜栽培在 1 层遮荫、适宜水分或轻度干旱胁迫的条件下, 它的生长对光照和土壤含水量的要求均不高, 建议适当扩大现有的种植范围, 提高产量。

#### 参考文献:

[1] 严秀峰, 王洋, 李一蒙. 植物次生代谢及其与环境的关系[J]. 生态学报, 2007, 27(6): 2554-2562.  
 [2] 兰小中, 杨春贤, 陈敏, 等. 水分胁迫对中华芦荟部分药用成分含量的影响[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(4): 106-109.  
 [3] 何丙辉, 钟章成. 不同环境胁迫下银杏种群药用成分变化的研究[J]. 西南农业大学学报, 2003, 25(1): 7-10.

[4] 董然, 冯玉才, 刘丽娟, 等. 光照对野生朝鲜淫羊藿有效成分含量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(4): 413-415.  
 [5] 严秀峰, 王洋, 尚辛亥. 温室栽培光强和光质对高山红景天生物量和红景天苷含量的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 841-849.  
 [6] 鲁守平, 隋新霞, 孙群, 等. 药用植物次生代谢的生物学作用及生态环境因子的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2006, 18(6): 1027-1032.  
 [7] 刘洋, 张佐双, 贺玉林, 等. 药材品质与生态因子关系的研究进展[J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2007, 9(1): 65-69.  
 [8] 楼崇, 姚志刚, 张往祥, 等. 生态因子对银杏叶片产量和黄酮含量的影响[J]. 华东森林经理, 2006, 20(3): 14-16.  
 [9] 苏文华, 张光飞, 李秀华, 等. 光强和光质对灯盏花生长与总黄酮量影响的研究[J]. 中草药, 2006, 37(8): 3244-3247.  
 [10] 郑朝宗. 浙江种子植物检索鉴定手册[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2005: 31.  
 [11] 唐霖, 张莉静, 王明谦. 杨梅中活性成分杨梅素的研究进展[J]. 中成药, 2006, 26(1): 121-122.  
 [12] 兰世步. 东魁杨梅的特性与无公害栽培[J]. 福建农业科技, 2007(1): 58.  
 [13] 杨伟福. 克服东魁杨梅大小年结果技术—看梢管理[J]. 浙江柑橘, 2005, 22(2): 34.  
 [14] 莫开菊, 田成. 东魁杨梅热处理——冷藏研究[J]. 湖北民族学院学报: 自然科学版, 2004, 22(1): 84-86.  
 [15] 彭晓春, 王辉亮, 刘文萍, 等. 湘西杜鹃花根黄酮类化合物含量测定[J]. 吉首大学学报: 自然科学版, 2000, 21(1): 11-12.  
 [16] 邢俊波, 李萍, 温德良. 不同物候期金银花中总绿原酸的积累动态研究[J]. 中国中药杂志, 2001, 26(7): 456-459.  
 [17] 王璐, 王晓, 施大文. 中药锁阳鞣质含量的测定[J]. 上海医科大学学报, 1996, 23(2): 150.  
 [18] 张小梅, 杨荣平, 励娜, 等. 决明子中蒽醌成分的含量测定[J]. 时珍国医国药, 2007, 18(1): 97-98.  
 [19] 董娟娥, 张康健, 梁宗锁. 植物次生代谢与调控[M]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2009.  
 [20] Wahid A, Gelani S, Ashraf M, et al. Heat tolerance in plants: An overview[J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 61: 199-223.  
 [21] Jeffrey M, Wanen J H, Bassman D. Alteration of foliar flavonoid chemistry induced by enhanced UV-B radiation in field grown *Pinus ponderosa*, *Quercus rubra* and *Pseudotsuga menziesii*[J]. Photochem Photobiol, 2002, 66: 125-133.