

6 个不同种源梓树叶片的总酚含量和抗氧化性能的比较

陈 龙^{1,2}, 景丹龙², 王军辉^{2*}

(1. 三峡大学 生物技术研究中心, 湖北 宜昌 443002; 2. 中国林业科学研究院 林业研究所, 国家林业局 林木培育重点实验室, 国家林木种质资源平台, 北京 100091)

摘 要:总酚含量和抗氧化性能水平的高低是植物做为药用价值的重要指标。为了比较不同种源梓树叶片的总酚含量和抗氧化性能的差异,寻找抗氧化性能较强的梓树品种,首先进行了提取方法的优化,然后使用最优的提取方法提取了 6 个种源(辽宁、甘肃、河南、湖北、湖南、贵州)1 年生梓树叶片的抗氧化物质,测定了总酚含量、还原力、羟自由基清除率、DPPH 清除率、ABTS 清除率和 FRAP 铁离子还原能力。结果表明:使用 60% 甲醇,料液比 1:10,超声提取 90 min,获得梓树叶片的总酚含量较高,辽宁、甘肃和河南种源梓树叶片的总酚含量和抗氧化能力较高,而湖南、湖北和贵州地区的较低。总酚含量和抗氧化能力具有显著的地理差异,北方梓树的显著高于南方。可为选育具有更高抗氧化性能的林木提供指导,为进一步研究抗氧化性能差异的机理提供基础。

关键词:梓树;种源;抗氧化;总酚

中图分类号:S722.3 文献标志码:A 文章编号:1001-7461(2015)06-0222-05

Comparison of Total Phenols and Antioxidant Activity in the Leaves of *Catalpa ovate* from Six Provenances

CHEN Long^{1,2}, JING Dan-long², WANG Jun-hui^{2*}

(1. Biotechnology Research Center, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 43002, China;

2. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, China Forest Genetic Resource, Beijing 100091, China)

Abstract: The total phenolic content and antioxidant activity are important indicators for medicinal plants. To compare the differences in total phenolic contents and antioxidant activities among the leaves of 1-year-old *Catalpa ovate* from different provenances to select varieties with strong antioxidant activity, the leaves from 6 regions such as Liaoning, Gansu, Henan, Hubei, Hunan and Guizhou were collected. The total phenol content, reducing power, rates of free radical scavenging capability, such as hydroxyl radical, DPPH radical and ABTS, and FRAP iron clearance reducing ability were measured. The results showed that optimal extraction conditions were solvent: 60% methanol, ratio of material to solvent: 1:10, and time of ultrasonic wave aided extraction: 90 min. Samples collected from Liaoning, Gansu, and Henan were found higher phenol contents and strong antioxidant activity, while those from Hunan, Hubei, and Guizhou were lower. Significant geographical differences were observed: varieties from northern China were superior than those from southern China. The results would provide guidance for the selection of varieties with high antioxidant activity as well as for anti-oxidation mechanism study.

Key words: *Catalpa ovate*; provenance; antioxidant activity; total phenol

收稿日期:2014-11-18 修回日期:2015-08-07

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划专题(2012BAD01B0502)。

作者简介:陈 龙,男,硕士研究生,研究方向:楸树遗传多样性及亲缘关系。E-mail:ctgu2012cl@hotmail.com

* 通信作者:王军辉,男,研究员,博士生导师,研究方向:楸树和云杉的遗传育种。E-mail:wangjh@caf.ac.cn

梓树(*Catalpa ovata*)为紫葳科梓树属高大落叶乔木,原产我国,主要分布在长江流域及以北地区,树体端正,叶大荫浓,叶中含有黄酮、酚类等药用成分,具有很高的观赏和药用价值^[1-2]。植物叶片内的抗氧化物水平不仅反映了植物的生长状态,而且反映了植物对周围环境的适应能力,是其自身基因和所处环境共同作用的结果;植物叶片内的抗氧化物对脂质过氧化物、活性氧自由基以及DNA氧化损伤具有较强的抑制作用,从而起到保护植物的作用^[3-6]。因此,关于植物叶片的抗氧化物研究是近年来研究的热点之一。王丹阳^[7]等采用Folin-Ciocalteu法对陕西产的2种鹿蹄草的多酚定量,并用DP-PH法、ABTS法、FRAP法3种方法进行评价自由基能力。吴媛琳^[8]等研究了枇杷不同部位总黄酮、总酚酸、总三萜酸的分布情况以及抗氧化活性。通过对梓树叶片的抗氧化物活性进行研究,有利于梓树优良抗氧化品种的筛选。此外,梓树叶片内的抗氧化类化合物具有治疗心脑血管疾病、降血压、抗菌作用和药用保健等功能^[2]。长期以来,对梓树的叶片研究主要集中在叶片密度、厚度、干物质含量和相对叶绿素含量等方面^[9-10],而对其抗氧化物性能方面的研究较少。

本研究对甘肃、湖北种源1年生梓树叶片中总酚的提取方法进行优化,并测定、分析了6个不同种源(辽宁、甘肃、河南、湖北、湖南、贵州)1年生梓树叶片的总酚含量、还原力、羟自由基清除率、DPPH清除率、ABTS清除率和FRAP铁离子还原能力的差异性。以揭示不同种源梓树叶片的总酚含量和抗氧化物的差异性,为梓树的抗氧化品种筛选提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验林由“国家林木种质资源平台—楸树种质资源保存库”提供。2013年10月4日,在河南省洛阳市的梓树种源苗圃试验林(113°14'E, 34°43'N, 海拔110 m),采集6个不同种源(辽宁、甘肃、河南、湖北、湖南、贵州)的1年生梓树顶端第3轮的叶片,分家系进行采集,采集后将每个种源10个家系的叶片混合。分别采集每个种源1年生、长势接近的梓树新鲜叶片后混合,每个种源的样品3个重复,各叶片采集后90℃杀青处理20 min,60℃烘干,粉碎,过20目筛,备用。

1.2 方法

1.2.1 样品的制备 准确称取0.500 0 g样品干

粉于离心管中,加入5 mL 60%甲醇超声提取90 min(分3次提取,每次超声30 min),合并上清,滤液用封口膜封口后放于冰箱内保存,备用测定各种物质和抗氧化指标。

1.2.2 梓树叶片内的总酚含量提取优化 选取甘肃、湖北种源的梓树叶片样品,分别用5种提取溶剂(纯甲醇、无水乙醇、丙酮、乙酸乙酯和石油醚)进行总酚的提取优化,料液比为1:10,超声时间为90 min,选择适宜的提取溶剂;将该适宜的溶剂配制成6个浓度(50%、60%、70%、80%、90%、100%)的溶液进行总酚提取,料液比为1:10,超声时间为90 min,获得适宜提取浓度;每隔30 min更换超声仪中的水,以维持室温。

在适宜浓度的溶剂下,进行超声30、60 min和90 min的比较,选择适宜的超声时间;在适宜浓度的溶剂和超声时间条件下,配制3个料液比:1:5、1:10、1:20,进行提取效果比较,选择适宜的料液比;获得较为理想的总酚提取条件。

1.2.3 梓树叶片的总酚含量测定 梓树叶片中的总酚含量采用Folin-Ciocalteu^[11-13]法进行测定,稍加改进。准确吸取400 μ L样品提取液,加入5 mL Folin-Ciocalteu酚试剂和2 mL 7.5%碳酸钠溶液,涡旋混匀,置于25℃水浴反应1 h后测 $A_{760\text{nm}}$ 。用没食子酸(0.2~1.6 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)作为标准品制作标准曲线,得到回归方程: $y=0.6205x-0.0138$ ($R^2=0.9939$)。根据标准曲线计算梓树叶片中的总酚含量,以每克样品干重中含有的没食子酸毫克数计,单位为 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

1.2.4 梓树叶片的还原力测定 梓树叶片中的还原力采用 FeCl_3 还原力测定法^[14],稍有改进。吸取1 mL样品提取液,加2.5 mL PBS(0.2 M, pH 6.6)和2.5 mL 1%铁氰化钾溶液,在50℃水浴中保温20 min后迅速冷却,加入2.5 mL 10%三氯乙酸溶液,混合均匀,3 000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心10 min,取上清液1.0 mL,依次加入1.0 mL蒸馏水和0.2 mL 0.1% FeCl_3 ,充分混匀,静置反应10 min后,在700 nm下测定其吸光度。

$$\text{还原力}=[1-(A_i-A_j)/A_o] \times 100\% \quad (1)$$

式中 A_i :样品提取液+PBS+铁氰化钾+三氯乙酸+三氯化铁; A_o :PBS+铁氰化钾+三氯乙酸+三氯化铁; A_j :样品提取液+PBS。

1.2.5 梓树叶片的羟自由基清除率测定 羟自由基的测定按照J. Ren^[15]等的方法,略有改进。取2 mL样品提取物,加入2 mL 9 mmol $\cdot \text{L}^{-1}$ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -EDTA混合溶液、2 mL 9 mmol $\cdot \text{L}^{-1}$ 水杨酸

乙醇溶液和 2 mL 8.8 mmol · L⁻¹ H₂O₂, 混匀后置于 37℃ 水浴中, 反应 60 min。

羟自由基清除率=[1-(A_s-A₀)/A_c] \times 100%
(2)

式中 A_c: FeSO₄ + 水杨酸醇溶液 + H₂O₂; A_s: 加 FeSO₄ + 水杨酸醇溶液 + H₂O₂ + 样品提取液; A₀: 加 FeSO₄ + 水杨酸醇溶液 + 样品提取液。

1.2.6 梓树叶片的 DPPH 自由基清除率测定 制备 DPPH 溶液: 用 95% 乙醇将 78.86 mg 的 DPPH 试剂溶解定容, 配置成 78.86 mg · L⁻¹ DPPH · 乙醇溶液, 置于冰箱中待用。在 5 mL 78.86 mg · L⁻¹ DPPH · 乙醇溶液中加入 1 mL 提取液, 每隔 5 min 测定溶液的吸光度 A_{517nm}, 30 min 后吸光度基本稳定。分别在 5 mL DPPH · 乙醇溶液中加入 1 mL 样品提取液, 其吸光值为 A_{sample}, 同时用 1 mL 95% 乙醇代替样品提取液作为对照组, 其吸光值为 A_{blank}, 混匀放置反应 30 min, 在 517 nm 测定吸光度, 并测定 5 mL 95% 乙醇加 1 mL 样品提取液的吸光值 A_{control}。

DPPH 清除率=[1-(A_{sample}-A_{blank})/A_{control}] \times 100%
(3)

1.2.7 梓树叶片的 ABTS 自由基清除能力 测定的自由基采用 ABTS 与过硫酸钾溶液反应产生, 取 5 mL ABTS(7 mmol · L⁻¹), 然后加入 123 μL 过硫酸钾溶液(100 mmol · L⁻¹)。混匀后, 暗处静置 13 h 待用。使用前用乙醇稀释到吸光值在 732 nm 处为 0.70 ± 0.02。

分别吸取样品提取液 100 μL 加入到 ABTS · ⁺ 溶液 2.0 mL 摇匀、静置 10 min, 以溶剂(70% 乙醇)为空白, 吸光度 A_i; 同时测定样品液 2.0 100 μL 与 70% 乙醇 2.0 mL 混合液吸光度 A_j; 再测定 ABTS · ⁺ 溶液 2.0 mL 与 70% 乙醇 2.0 mL 混合液处的吸光度 A_c, 每组测定 3 次。

ABTS 清除率=[1-(A_i-A_j)/A_c] \times 100%
(4)

1.2.8 梓树叶片的 FRAP 铁离子还原能力 参照铁离子还原法, 加入 10 μL 样品溶液, 再加入 3 mL FRAP 溶液(0.3 mol · L⁻¹ 醋酸盐缓冲液: 10 mmol · L⁻¹ TPTZ 溶液: 20 mmol · L⁻¹ FeCl₃ 溶液 = 10: 1: 1, 现配现用), 在 37℃ 水浴条件下, 反应 10 min, 于 593 nm 处测定吸光度, 平行测定 3 次。

FRAP 铁离子还原能力=[1-(A_i-A_j)/A_o] \times 100%
(5)

式中 A_i: 样品提取液 + 水 + FRAP; A_o: 水 + FARP

溶液; A_j: 样品提取液 + 水。

1.3 数据分析

试验数据使用 SPSS 软件进行 ANOVA 统计分析, 采用 SNK 法进行显著性检验($p < 0.05$) 其中酚类物质含量与抗氧化活性的关系运用 Pearson 相关性分析。每个样品测定重复 3 次, 结果平均值 ± 标准差($\bar{x} \pm s$) 表示。

2 结果与分析

2.1 梓树叶片内的总酚含量提取优化

5 种有机溶剂分别对甘肃、湖北种源的梓树叶片内总酚含量进行提取效果为: 甲醇 > 乙醇 > 丙酮 > 乙酸乙酯 > 石油醚。选用甲醇作为溶剂进行提取条件下, 甘肃种源获得的提取量为 10.32 mg · g⁻¹, 湖北种源为 7.25 mg · g⁻¹, 在 5 种提取溶剂下获得的总酚含量均最高, 因此, 选择提取溶剂为甲醇。6 种浓度甲醇分别对甘肃、湖北种源的梓树叶片内总酚进行提取比较, 甘肃(15.08 mg · g⁻¹)、湖北(11.59 mg · g⁻¹) 种源的梓树叶片内总酚在 60% 甲醇的提取条件下, 效果最好, 测定的总酚含量均最高。因此, 以 60% 甲醇提取为宜。

用 60% 甲醇为提取液, 分别对甘肃、湖北种源梓树叶片内的总酚含量进行超声 30、60 min 和 90 min 的比较, 结果显示: 90 min 超声提取的甘肃(14.92 mg · g⁻¹)、湖北(12.37 mg · g⁻¹) 种源效果最好, 获得的总酚含量最高。因此, 适宜的超声提取时间为 90 min。在使用 60% 的甲醇为提取液, 超声 90 min 条件下, 3 个料液比(1: 5、1: 10、1: 20) 结果表明, 1: 10 和 1: 20 的比例下提取的效果好, 但是两者差异不显著, 从经济的角度选择提取的料液比为 1: 10。

在 60% 甲醇、料液比 1: 10、90 min 超声提取条件下, 甘肃种源梓树的总酚含量(15.26 mg · g⁻¹) 显著大于湖北种源(12.16 mg · g⁻¹) (图 1)。

2.2 6 个不同种源梓树叶片的总酚含量研究

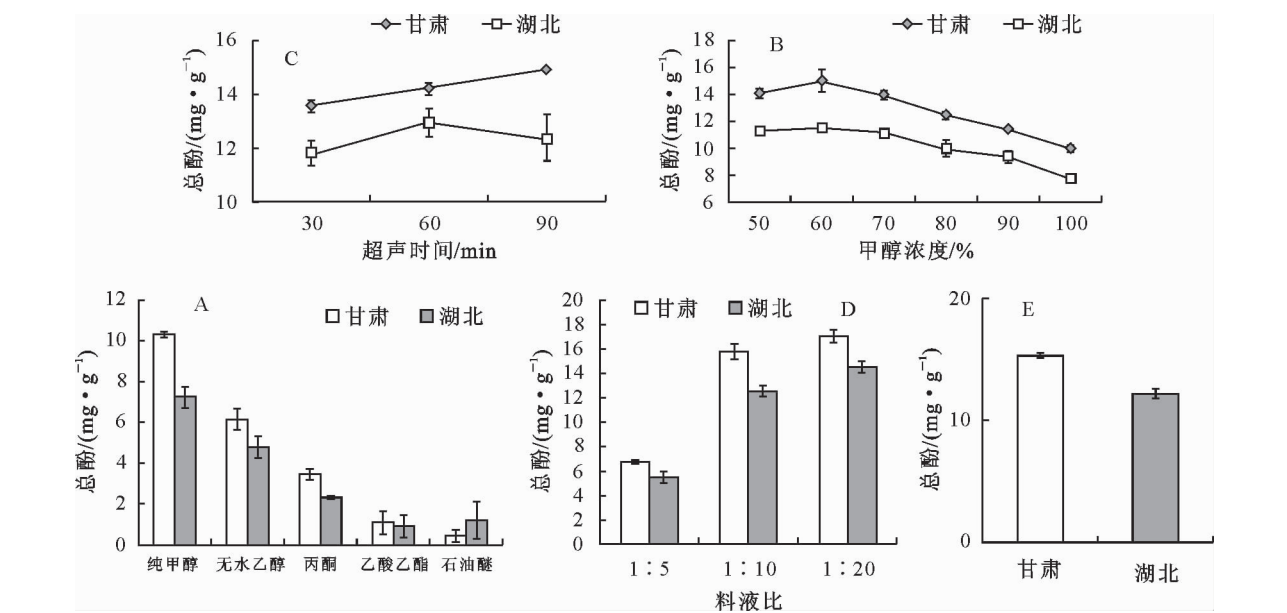
辽宁种源的梓树叶片的总酚含量(15.38 mg · g⁻¹) 最高, 其次是甘肃和河南, 而湖南、湖北和贵州种源较低。在 1 年生梓树叶片内的总酚含量方面, 北方种源显著高于南方种源(表 1)。

2.3 6 个不同种源梓树叶片的抗氧化活性研究

辽宁、甘肃、河南、湖北、湖南与贵州 6 个不同种源 1 年生梓树叶片的还原力、羟自由基清除率、DPPH 清除率、ABTS 清除率和 FRAP 铁离子还原能力测定结果(表 1) 显示, 辽宁(68.77%) 和河南(67.63%) 种源的梓树叶片还原力较高, 其次是甘

肃、贵州和湖南,而湖北种源的最低;其羟自由基清除率以辽宁种源清除率(84.70%)最高,其次是河南、甘肃和湖南,湖北和贵州种源偏低;其 DPPH 的清除率以辽宁种源梓树叶片的 DPPH 清除率(87.45%)最高,其次是甘肃、河南、湖南和湖北,而贵州种源最低。

6 个不同种源梓树叶的 ABTS 清除率以辽宁(75.30%)和河南(74.94%)种源梓树叶片的 ABTS 清除率较高,其次是甘肃、贵州和湖南,湖北种源最低;其 FRAP 铁离子还原能力:河南(63.60%)和甘肃(61.20%)种源较高,其次是辽宁、贵州和湖南,而湖北种源最低(表 1)。



注:A:不同溶剂提取;B:不同甲醇浓度提取;C:不同超声时间提取;D:不同料液比提取;E:最优条件下,甘肃和湖北种源总酚含量。

图 1 甘肃和湖北种源梓树叶片的总酚含量提取条件优化

Fig.1 Optimized extracting conditions for total phenolic contents from leaves of *C. ovate* in Gansu and Hubei

表 1 6 个不同种源梓树叶片的抗氧化活性

Table 1 Antioxidant activity in the leaves of *C. ovate* of six provenances

| 不同种源 | 总酚 (mg·g ⁻¹) | 还原力 /% | 羟自由基 清除率/% | DPPH 清除率/% | ABTS 清除率/% | FRAP 铁离子 还原能力/% |
|------|-----------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|--------------------|
| 辽宁 | 15.38±.87 a | 68.77±1.42 a | 84.70±4.88 a | 87.45±1.50 a | 75.30±2.94 a | 56.40±2.23 b |
| 甘肃 | 13.97±0.75 b | 65.80±0.66 c | 76.33±2.56 c | 86.89±0.45 ab | 64.10±4.97 bc | 61.20±2.43 a |
| 河南 | 14.36±0.93 ab | 67.63±1.24 ab | 82.29±2.48 ab | 87.04±0.81 ab | 74.94±2.01 a | 63.60±2.36 a |
| 湖北 | 12.62±0.60 c | 55.70±2.17 d | 69.34±2.59 d | 85.69±0.52 bc | 59.46±1.32 c | 43.80±2.10 c |
| 湖南 | 13.43±0.10 bc | 61.80±1.55 b | 77.67±3.46 | 85.92±0.08 abc | 66.54±2.02 b | 56.03±2.70 b |
| 贵州 | 12.72±0.31 c | 61.76±0.23 c | 73.11±2.05 | 85.00±0.83 c | 68.16±2.48 b | 56.40±0.92 b |

6 个不同种源梓树叶的抗氧化物质活性有差异,尤其是南北地区种源间差异极其显著。辽宁、甘肃和河南种源梓树叶片的抗氧化能力较强,而湖南、湖北和贵州种源较低。基本可分为 2 类:北方地区种源的梓树叶片抗氧化能力较强,而南方地区种源的梓树叶片抗氧化能力较低。

3 结论与讨论

梓树叶片内含有多种生物活性物质,总酚就是其中的一类。而酚类化合物是植物生长和发育过程中产生的一种重要的次生代谢产物^[16-18],对预防心脑血管、癌症以及衰老方面发挥着十分重要的作用。本研究对梓树叶片的总酚提取方法进行优化,结果

显示,60%甲醇作为提取溶剂,90 min 超声提取,料液比 1:10 为最优提取条件。利用该最优提取条件对 6 个不同种源梓树叶片内的总酚进行提取结果显示,辽宁、甘肃和河南种源的 1 年生梓树叶片的总酚含量高于湖南、湖北和贵州种源的总酚含量。南北地区 6 个不同种源 1 年生梓树叶的抗氧化活性差异极其显著,与 6 个不同种源梓树叶片内的总酚含量呈正相关,这与王丹阳^[7]等 2 种鹿蹄草抗氧化能力的强弱与其多酚含量呈正相关的结论相一致。辽宁和甘肃种源的梓树叶片内具有较高的总酚和抗氧化活性,有潜力培育具有高抗氧化能力的品种。总酚的合成和分布既受到自身遗传基因的影响^[19-20],也受其生长、发育及其所处生长环境的影响^[21-23]。我

国北方地区的降水量、气温明显低于南方,同时前者昼夜温差较大,利于梓树叶片抗氧化物质的富集。另外,北方地区纬度高于南方地区,也可能是北方生态类型的抗氧化指标显著高于南方的原因。黑大豆种质的抗氧化性与其产地的纬度呈显著的相关性^[24],与本研究对梓树叶片的抗氧化性分析结果基本一致。

对梓树优良品系的筛选要将遗传因素和生态环境因素相结合。造成不同地区梓树抗氧化差异的内在原因,需要进一步深入研究,尤其是寻找遗传因素和环境因素等关键因子所造成的基因型差异和抗氧化物质合成的差异,并通过人工模拟证实所发现的关键因子确实能够影响梓树的抗氧化性能,为发现、选育、栽培和生产具有更高抗氧化能力的林木提供指导。

参考文献:

[1] 张永忠. 梓树的播种育苗技术[J]. 防护林科技, 2006, 3(2): 81-81.

[2] MACHIDA K, SHIODA K, YAOITA Y, *et al.* Constituents of the Leaves of *Catalpa ovata* G. Don[J]. Natural Medicines, 2001, 55(3): 147-148.

[3] 赵新淮. 茶叶提取物对自由基的清除能力[J]. 东北农业大学学报, 1998, 29(3): 284-288.

ZHAO X H. The free radical-scanvenging activity of tea extracts[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 1998, 29(3): 284-288. (in Chinese)

[4] 龙盛京, 马文力, 衣冠荣. 黑豆色素及多糖对全血化学发光和活性氧的抑制作用[J]. 食品科学, 1999 (9): 9-12.

[5] TSUDA T, SHIGA K, OHSHIMA K, *et al.* Inhibition of lipid peroxidation and the active oxygen radical scavenging effect of anthocyanin pigments isolated from *Phaseolus vulgaris* L[J]. Biochemical Pharmacology, 1996, 52(7): 1033-1039.

[6] AZEVEDO L, GOMES J C, STRINGHETA P C. Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as a protective agent against DNA damage in mice[J]. Food and Chemical Toxicology, 2003, 41(12): 1671-1676.

[7] 王丹阳, 康永祥, 侯娇娇, 等. 陕西产 2 种鹿蹄草的多酚含量测定及抗氧化性研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(4): 193-197.

WANG D Y, KANG Y X, HOU J J, *et al.* Comparative study on polyphenol content and antioxidant properties of extracts from 2 kinds of Shaanxi *Pyrola* species[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(4): 193-197. (in Chinese)

[8] 吴媛琳, 赵听, 张凯煜, 等. 枇杷不同部位主要有效成分含量及抗氧化活性比较[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(1): 196-201.

WU Y L, ZHAO T, ZHANG K Y, *et al.* Main active ingredient contents and the antioxidant activity of different parts of *Eriobotrya japonica* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(1): 196-201. (in Chinese)

[9] 胡满平, 赵秋玲, 戴秀芳, 等. 梓树叶片可塑生长的密度依赖性

研究[J]. 甘肃农业科技, 2013(6): 15-17.

HU M P, ZHAO Q L, DAI X F, *et al.* Study on the planting density dependence of pliant growth of *Catalpa ovata* G. Don leaves [J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2013 (6): 15-17. (in Chinese)

[10] 赵秋玲, 张宋智, 王军辉, 等. 梓树苗木地下和地上竞争的效应研究[J]. 西北植物学报, 2012, 32(2): 802-806.

ZHAO Q L, ZHANG S Z, WANG J H, *et al.* Research of below and above-ground competitions in *Catalpa ovata* seedlings[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2012, 32(2): 802-806. (in Chinese)

[11] 高畅, 程大海, 高欣, 等. 蓝莓果渣提取物总酚含量及抗氧化活性研究[J]. 植物研究, 2010, 30(2): 253-256.

GAO C, CHENG D H, GAO X, *et al.* Total phenolic content and antioxidant activities of blueberry pomace extracts[J]. Bulletin of Botanical Research, 2010, 30(2): 253-256. (in Chinese)

[12] WU C Q, CHEN F, WANG X, *et al.* Antioxidant constituents in feverfew (*Tanacetum parthenium*) extract and their chromatographic quantification[J]. Food Chemistry, 2006, 96(2): 220-227.

[13] DJERIDANE A, YOUSFI M, NADJEMI B, *et al.* Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds[J]. Food Chemistry, 2006, 97(4): 654-660.

[14] 王婧, 李淑君. 落叶松树皮乙醇提取物的抗氧化性能研究[J]. 林产化学与工业, 2009, 29(Supp. 1): 143-148.

[15] REN J, ZHAO M, SHI J, *et al.* Purification and identification of antioxidant peptides from grass carp muscle hydrolysates by consecutive chromatography and electrospray ionization-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2008, 108(2): 727-736.

[16] ISLAM M S, YOSHIMOTO M, YAHARA S, *et al.* Identification and characterization of foliar polyphenolic compositions in sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(13): 3718-3722.

[17] HATTENSCHWILER S, HAGERMAN A E, VITOUSEK P M. Polyphenols in litter from tropical montane forests across a wide range in soil fertility[J]. Biogeochemistry, 2003, 64(1): 129-148.

[18] ISLAM M S, YOSHIMOTO M, YAMAKAWA O. Distribution and physiological functions of caffeoylquinic acid derivatives in leaves of sweetpotato genotypes[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(1): 111-116.

[19] TRUONG V D, MCFEETERS R F, THOMPSON R T, *et al.* Phenolic acid content and composition in leaves and roots of common commercial sweetpotato (*Ipomea batatas* L.) cultivars in the United States[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(6): c343-c349.

[20] PADDA M S, PICHA D H. Quantification of phenolic acids and antioxidant activity in sweetpotato genotypes[J]. Scientia Horticulturae, 2008, 119(1): 17-20.

Journal of Shenyang Jianzhu University: Social Science, 2008, 10(1):55-57. (in Chinese)

[6] 詹秦川, 张越. 2011 西安世界园艺博览会景观规划设计对西安城市综合实力提升的思考[J]. 陕西科技大学学报, 2011, 29(1):174-179.

ZHAN Q C, ZHANG Y. On research in the landscape planning and design of Xi'an international horticultural exposition 2011 to enhance the overall strength of Xi'an city [J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2011, 29(1): 174-179. (in Chinese)

[7] 吴春艳. 后世园会效应下的西安浐灞绿色空间优化与发展模式研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.

[8] 胡媛. 西安世园会园区可持续性景观规划研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2012.

[9] 胡杰冰. 基于使用表现和使用者评价的国内园林博览园会后利用调查研究-以西安, 济南, 深圳为例[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.

[10] 刘笑明. 世园会旅游效应及后世园会时期西安旅游发展研究[J]. 西安石油大学学报: 社会科学版, 2013, 22(5):14-18.

LIU X M. Study on tourism effect of Xi'an World Horticultural Exposition and Xi'an tourism development in the period after 2011 Xi'an Exposition [J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Social Sciences, 2013, 22(5):14-18. (in Chinese)

[11] 西安世博园官方网站. 世博资讯[EB/OL]. <http://www.expo2011.cn/sbyinfo/>.

[12] 郭玮, 张硕新. 景观生态学在城市绿地系统建设中的应用[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(1):139-142.

GUO W, ZHANG S X. On application of landscape ecology in systematic planning of urban Greenland construction [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 21(1):139-142. (in Chinese)

[13] FORMAN R T. 1995. Land mosaics, the ecology of landscapes and regions[M]. Cambridge: Cambridge University Press. 138-140.

[14] 吴泽民, 吴文友, 高健, 等. 合肥市市区城市森林景观格局分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12):2117-2122.

WU Z M, WU W Y, GAO J, *et al.* Analysis of urban forest landscape pattern in Hefei[J]. Chinese Journal of Applied Ecology. 2003, 14(12):2117-2122. (in Chinese)

[15] 王瑛, 陈北光, 张璐. 广州越秀公园景观格局分析[J]. 华南农业大学学报, 2008 29(1):68-72.

WANG Y, CHEN B G, ZHANG L. Analysis on landscape pattern if Yuexiu Park in Guangzhou [J]. Journal of South China Agricultural University, 2008, 29(1):68-72. (in Chinese)

[16] 金立强, 段渊古, 曲良艳, 等. 节约理念影响下的园林景观设计[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(5):203-206.

JIN L Q, DUAN Y G, QU L Y, *et al.* Effect of saving idea on modern landscape architecture design[J]. 2010, 25(5): 203-206. (in Chinese)

[17] 赵爱华, 李冬梅, 胡海燕, 等. 园林植物与园林空间景观的营造[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(3):136-138.

ZHAO A H, LI D M, HU H Y, *et al.* Studies on constructing garden space with landscape plants [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2004, 19(3):136-138. (in Chinese)

[18] 杨玉霞, 段渊古, 张楠阳, 等. 园林植物季相变化对园林空间的影响研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(6):177-180.

YANG Y X, DUAN Y G, ZHANG N Y, *et al.* The effect of seasonal changes of garden plants on garden space of landscape [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(6):177-180. (in Chinese)

[19] 王华青, 马良, 吉文丽. 论园林景观规划的主题与文化[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(5):229-235.

WANG H Q, MA L, JI W L. Discussion on the theme and culture in landscape planning [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(5):229-235. (in Chinese)

[20] 晏海, 董丽. 北京植物园植物教育功能现状与拓展[J]. 西北林学院学报, 2011, (26)1:219-222.

YAN H, DONG L. Present situation and development of plant educational function of Beijing botanical garden [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(1):219-222. (in Chinese)

(上接第 226 页)

[21] LIN K H, CHAO P Y, YANG C M, *et al.* The effects of flooding and drought stresses on the antioxidant constituents in sweet potato leaves[J]. Botanical Studies, 2006, 47: 417-426.

[22] 傅玉凡, 梁媛媛, 孙富年, 等. 甘薯块根生长过程中淀粉含量的变化[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(4):56-61.

FU Y F, LIANG Y Y, SUN F N, *et al.* Variations of starch content in storage roots of sweetpotato during their development[J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2008, 30(4):56-61. (in Chinese)

[23] FU Y F, CHEN M, YE X L, *et al.* Variation laws of anthocyanin content in roots and their relationships with major economic traits in purple-fleshed sweetpotato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam. [J]. Agricultural Sciences in China, 2008, 7(1): 32-40.

[24] 徐金瑞, 张名位, 刘兴华, 等. 黑大豆种质抗氧化能力及其与总酚和花色苷含量的关系[J]. 中国农业科学, 2006, 39(8): 1545-1552.

XU J R, ZHANG M W, LIU X H, *et al.* Correlation between antioxidation, and content of total phenolics and anthocyanin in black soybean accessions[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(8):1545-1552. (in Chinese)