

薄壳山核桃种仁中酚类成分含量和 抗氧化能力差异分析及优株筛选

罗会婷¹, 许梦洋¹, 贾晓东^{1,2,①}, 翟敏¹, 李永荣³, 宣继萍¹, 张计育¹, 郭忠仁^{1,①}

[1. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014; 2. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095;

3. 南京绿宙薄壳山核桃科技有限公司, 江苏 南京 210007]

摘要:以南京地区的 76 株薄壳山核桃 [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] 单株为研究对象, 比较各单株种仁中总黄酮、缩合单宁、总酚、没食子酸、儿茶素、表儿茶素、表没食子儿茶素没食子酸酯和鞣花酸含量以及总酚提取物对 DPPH· 和 ABTS· 清除能力共 10 个指标的差异, 并对各指标的相关性进行分析; 分别依据这 10 个指标对 76 株单株进行排序, 筛选出高酚类含量和高抗氧化能力的单株。结果显示: 供试 76 株单株种仁中总黄酮、缩合单宁和总酚含量的平均值分别为 3.08、18.65 和 11.73 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 其变异系数分别为 34.22%、40.11% 和 31.75%; 5 种酚类化合物中, 儿茶素含量的平均值最高 (1.39 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), 没食子酸含量的平均值最低 (0.09 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), 变异系数均在 48% 以上, 以表儿茶素含量的变异系数最高 (90.26%); 总酚提取物对 DPPH· 和 ABTS· 清除能力的平均值分别为 249.61 和 207.77 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$, 其变异系数分别为 44.14% 和 34.80%。排序结果显示: 供试 76 株单株具有不同的优势特征, 且各指标排名前 10 的单株均不相同。其中, 除表没食子儿茶素没食子酸酯含量外, 70 号单株种仁的其他 9 个指标均排名前 3, 其中 5 个指标排名第 1; 30 号和 29 号单株也有 6 个酚类成分含量指标排名前 6; 62 号、69 号和 34 号单株的 2 个抗氧化能力指标均排名前 10。相关性分析结果显示: 除表没食子儿茶素没食子酸酯含量外, 其他 7 个酚类成分含量与总酚提取物的抗氧化能力均呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关, 而果实性状指标与总酚提取物抗氧化能力总体上无显著相关性。研究结果表明: 薄壳山核桃单株种仁中酚类成分含量与总酚提取物抗氧化能力密切相关, 且不同单株种仁中各指标差异明显。根据各单株的优势特征和不同的选育目标, 建议将 70 号单株作为高酚类含量和高抗氧化能力的双优单株, 30 号和 29 号单株可作为高酚类含量的优选单株, 62 号、69 号和 34 号单株可作为高抗氧化能力的优选单株。

关键词: 薄壳山核桃; 种仁; 酚类成分; 抗氧化能力; 相关性分析; 优株筛选

中图分类号: Q944.59; Q946.8; S664.1 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2018)04-0063-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.04.07

Analyses on phenolics content and difference in antioxidant ability of kernel of *Carya illinoensis* and superior individuals screening LUO Huiting¹, XU Mengyang¹, JIA Xiaodong^{1,2,①}, ZHAI Min¹, LI Yongrong³, XUAN Jiping¹, ZHANG Jiyu¹, GUO Zhongren^{1,①} (1. Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 2. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3. Nanjing Green Universe Pecan Science & Technology Co., Ltd., Nanjing 210007, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2018, 27(4): 63-71

Abstract: Taking 76 individuals of *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch in Nanjing as research objects, differences in ten indexes of total flavonoids, condensed tannins, total phenolics, gallic acid, (+)-catechin, (-)-epicatechin, (-)-epigallocatechin gallate and ellagic acid contents, and scavenging abilities of total phenolic extracts to DPPH· and ABTS· from kernel of individuals were compared, and

收稿日期: 2018-01-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31200502); 江苏省林业三新工程项目(lysx[2016]44); 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(16)1015]; 江苏省科学技术厅现代农业项目(BE2016385); 国家中医药管理局全国中药资源普查项目(GZY-KJS-2018-004)

作者简介: 罗会婷(1990—), 女, 安徽六安人, 硕士研究生, 主要从事果树种质资源及果实品质研究。

①通信作者 E-mail: jiaxiaodong@cnbg.net; zhongrenguo@aliyun.com

correlations among each index were analyzed. 76 individuals were ranked according to these ten indexes, respectively, and individuals with high phenolics content and high antioxidant ability were screened out. The results show that mean of contents of total flavonoids, condensed tannins and total phenolics in kernel of 76 individuals tested are 3.08, 18.65 and 11.73 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, and their coefficients of variation are 34.22%, 40.11% and 31.75%, respectively. Among five phenolic compounds, mean of content of (+)-catechin is the highest (1.39 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), and that of gallic acid is the lowest (0.09 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$), their coefficients of variation are all above 48%, and that of (-)-epicatechin content is the highest (90.26%). Means of scavenging ability of total phenolic extracts to DPPH $\cdot$ and ABTS $^{+ \cdot}$ are 249.61 and 207.77 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$, and their coefficients of variation are 44.14% and 34.80%, respectively. The ranking result shows that 76 individuals tested have different advantage characteristics, and top 10 individuals of each index are different. In which, except (-)-epigallocatechin gallate content, other nine indexes of kernel of No. 70 individual all rank top 3 with five indexes of top 1. No. 30 and No. 29 individuals also have six phenolics content indexes rank top 6. Two antioxidant ability indexes of No. 62, No. 69 and No. 34 individuals all rank top 10. The correlation analysis results show that except (-)-epigallocatechin gallate content, there are extremely significantly ($P < 0.01$) positive correlations of other seven phenolics contents with antioxidant ability of total phenolic extracts, however, there is no significant correlation of fruit trait indexes with antioxidant ability of total phenolic extracts in general. The research results show that phenolics content in kernel of individuals of *C. illinoensis* is closely related to antioxidant ability of total phenolic extracts, and differences in each index of kernel of different individuals are obvious. According to advantage characteristics of each individual and different breeding targets, it is suggested that No. 70 individual can be used as double superior individual with high phenolics content and high antioxidant ability, No. 30 and No. 29 individuals can be used as superior individuals with high phenolics content, and No. 62, No. 69 and No. 34 individuals can be used as superior individuals with high antioxidant ability.

Key words: *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch; kernel; phenolics; antioxidant ability; correlation analysis; superior individual screening

薄壳山核桃 [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] 又名美国山核桃、长山核桃等,起源于美国和墨西哥交界处的河谷地带^[1]。薄壳山核桃作为商品化作物仅百余,但其引入中国的时间已有 110 多年^[2]。迄今为止,中国已有 20 多个省(自治区、直辖市)引种并种植该树种。薄壳山核桃种仁营养丰富,尤其富含油脂及人体所需的多种营养成分,既是著名的干果树种,也是重要的木本油料树种。

酚类成分广泛存在于植物体中,主要包括黄酮类和缩合单宁类^[3]。对于薄壳山核桃中酚类成分的研究始于 20 世纪。早在 20 世纪 80 年代初,Sender 等^[4]利用气相色谱法从薄壳山核桃品种‘Stuart’和‘Schley’的种仁中检测出没食子酸及水杨酸衍生物;随着检测仪器和实验方法的提升,人们陆续在薄壳山核桃的种仁或壳中发现儿茶素、表儿茶素和鞣花酸等酚类成分^[5-8]。Wu 等^[9]对比了薄壳山核桃与多种蔬菜和坚果,发现薄壳山核桃的总酚含量最高且抗氧化能力最强。相关研究结果^[10-13]还表明:酚类成分能够降低多种慢性疾病的发病率,如阿尔茨海默病、帕金森综合征、癌症和变性疾病等。

传统的薄壳山核桃育种目的局限于提高产量、增强抗性和完善果形等方面,但以提升营养水平为目的选育工作目前尚未受到重视。作者在前期主要针对薄壳山核桃的果实性状和种仁脂肪酸含量开展了部分选育工作^[14],在此基础上,作者依据总黄酮、缩合单宁、总酚、没食子酸、儿茶素、表儿茶素、表没食子儿茶素没食子酸酯和鞣花酸含量及总酚提取物对 DPPH $\cdot$ 和 ABTS $^{+ \cdot}$ 清除能力 10 个指标,对南京地区 76 株薄壳山核桃单株种仁中酚类成分含量及抗氧化能力进行了比较分析,以期筛选出高酚类含量及高抗氧化能力的薄壳山核桃优良单株,为薄壳山核桃优良品种选育提供基础研究数据。

1 材料和方法

1.1 材料

于 2015 年 10 月至 11 月在江苏省南京市的南京中山植物园以及雨花台和明孝陵景区采收薄壳山核桃实生单株的成熟果实。选择树龄 50~60 a、树体强健(株高 20 m 以上、胸径 50 cm 以上)且少病虫害的

76株样株进行采种;采用升降机辅助、人工敲落的方法从树体中部的各个方位采集果实,每株采集约1 kg,将各样株的果实分为3个生物学重复;同时,按1至76顺序对采种样株和果实样本同步编号,便于翌年持续观测和采种。

主要仪器包括 Agilent 1100 高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司)、UV-5100 型紫外可见分光光度计(上海元析仪器有限公司)、EFAA-DC12 氮吹仪(上海安谱实验科技股份有限公司)和 YRE-2000E 旋转蒸发仪(巩义市予华仪器有限责任公司)。

主要试剂:没食子酸(GA,纯度大于等于98%)、儿茶素(CE,纯度大于等于98%)、表儿茶素(ECE,纯度大于等于98%)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG,纯度大于等于98%)和鞣花酸(EAE,纯度大于等于98%)5种酚类化合物标准品均购自南京春秋生物工程有限公司;香草醛(分析纯)购自国药集团化学试剂有限公司;福林酚试剂购自美国 Sigma-Aldrich 公司;1,1-二苯基-2-苦肟基自由基购自梯希爱(上海)化成工业发展有限公司;2,2'-联氮-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐购自美国 Sigma-Aldrich 公司;6-羟基-2,5,7,8-四甲基苯并二氢吡喃-2-甲酸(troxol)购自东京化成工业株式会社;甲醇(色谱纯)、丙酮(分析纯)和乙腈(色谱纯)购自南京寿德试剂器材有限公司。

1.2 方法

1.2.1 脱脂和总酚提取 人工去除果实外壳,取种仁供试。将种仁置于60℃烘箱中烘干至恒质量,采用索氏提取法^[15]提取油脂;脱脂后的种仁于50℃旋转蒸干,碾磨成粉末后用锡箔纸密封包装,于-20℃保存、备用。

总酚提取参考文献[6,8]的方法并稍加修改。称取约1.000 g脱脂种仁粉末,加入20 mL体积分数80%丙酮作为提取溶剂,浸提12 h,超声(功率100 W,室温)提取2 h;过滤,残渣加入20 mL体积分数80%丙酮超声提取30 min;过滤,合并2次滤液于50℃水浴,氮气吹干;加入10 mL甲醇溶解残渣,于-20℃保存、备用。

1.2.2 总黄酮含量测定 总黄酮含量测定参考文献[16]的方法并稍加修改。准确称取0.100 g儿茶素,用甲醇定容至25 mL,得到4 000 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 儿茶素标准品母液;用甲醇逐级稀释至3 600、2 800、2 400、2 000、1 600、1 200、800和400 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。测定吸光

值,并以儿茶素质量浓度为自变量(x)、吸光值为因变量(y)绘制标准曲线。儿茶素标准曲线为 $y = 0.0005x + 0.0138$ ($R^2 = 0.9991$)。

根据上述儿茶素标准曲线计算各样品的总黄酮含量;结果以1 g鲜种仁中含有的儿茶素等价物的质量计。

1.2.3 缩合单宁含量测定 缩合单宁含量测定参考文献[6]的方法并稍加修改。准确称取0.200 g儿茶素,用甲醇定容至5 mL,得到40 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 儿茶素标准品母液;用甲醇逐级稀释至40、36、32、28、24、20、16、8和4 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。测定吸光值,并以儿茶素质量浓度为自变量(x)、吸光值为因变量(y)绘制标准曲线。儿茶素标准曲线为 $y = 0.00005x + 0.29440$ ($R^2 = 0.99900$)。

根据上述儿茶素标准曲线计算各样品的缩合单宁含量;结果以1 g鲜种仁中含有的儿茶素等价物的质量计。

1.2.4 总酚含量测定 总酚含量测定参考文献[6]采用福林酚试剂法。准确称取40 mg鞣花酸,用甲醇定容至10 mL,得到4 000 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 鞣花酸标准品母液;用甲醇逐级稀释至3 600、3 200、2 800、2 400、2 000和1 600 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。测定吸光值,并以鞣花酸质量浓度为自变量(x)、吸光值为因变量(y)绘制标准曲线。鞣花酸标准曲线为 $y = 0.0001x + 0.1227$ ($R^2 = 0.9999$)。

根据上述鞣花酸标准曲线计算各样品的总酚含量;结果以1 g鲜种仁中含有的鞣花酸等价物的质量计。

1.2.5 5种酚类化合物含量测定 参考文献[17]设置高效液相色谱(HPLC)条件:Gemini 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm);采用A和B双泵系统,流速1.0 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$;流动相A为体积分数2%乙酸,流动相B为体积分数100%乙腈;洗脱流程为5%~37%B(0~40 min),37%~5%B(40~41 min),5%B(41~50 min);柱温35℃,检测波长250 nm,进样量10 μL 。每个样品测定3次。

准确称取没食子酸、儿茶素、表儿茶素、表没食子儿茶素没食子酸酯和鞣花酸各1 mg,分别用甲醇定容至10 mL,得到0.1 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 相应的标准品母液;分别用甲醇逐级稀释至0.050 0、0.025 0、0.016 6、0.012 5和0.010 0 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$,按上述色谱条件进行测定。以各标准品的质量浓度为自变量(x)、峰面积

为因变量(y)分别绘制标准曲线。没食子酸标准曲线为 $y = 1\,274\,302.173\,9x + 9.200\,7$ ($R^2 = 0.999\,9$); 儿茶素标准曲线为 $y = 145\,650.000\,0x + 1.500\,0$ ($R^2 = 0.999\,7$); 表儿茶素标准曲线为 $y = 131\,850.000\,0x + 4.090\,0$ ($R^2 = 0.998\,4$); 表没食子儿茶素没食子酸酯标准曲线为 $y = 537\,500.000\,0x + 7.750\,0$ ($R^2 = 0.997\,9$); 鞣花酸标准曲线为 $y = 9\,766\,750.000\,0x + 107.650\,0$ ($R^2 = 0.999\,5$)。

按照上述色谱条件对样品总酚提取液进样测定,并根据上述各标准品的标准曲线分别计算各样品中没食子酸、儿茶素、表儿茶素、表没食子儿茶素没食子酸酯和鞣花酸的含量,结果以 1 g 鲜种仁中含有的各成分的质量计。

1.2.6 DPPH·和ABTS⁺清除能力测定 总酚提取液对DPPH·清除能力的测定参考文献[18]的方法并稍加修改;总酚提取液对ABTS⁺清除能力的测定参考文献[17]的方法并稍加修改。准确称取 0.100 g trolox,用甲醇定容至 25 mL,得到 4 000 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ trolox 标准品母液,再用甲醇逐级稀释至 2 000、

1 000、500、250 和 125 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。测定吸光值,并以 trolox 标准品的质量浓度为自变量(x)、吸光值为因变量(y)分别绘制标准曲线。DPPH·清除能力标准曲线为 $y = -0.000\,2x + 0.937\,7$ ($R^2 = 0.999\,7$); ABTS⁺清除能力标准曲线为 $y = -0.001\,4x + 1.667\,2$ ($R^2 = 0.999\,8$)。

根据上述 trolox 标准品曲线计算各样品对 DPPH·和ABTS⁺清除能力,结果以 1 g 鲜种仁中含有的 trolox 等价物的量计。

1.3 数据处理和分析

采用 EXCEL 2007 和 SPSS 19.0 统计分析软件进行数据处理和分析。

2 结果和分析

2.1 酚类成分含量及抗氧化能力差异分析

对供试 76 株薄壳山核桃单株种仁中酚类成分含量及总酚提取物抗氧化能力的差异进行分析,结果见表 1。

表 1 76 株薄壳山核桃单株种仁中酚类成分含量及总酚提取物对DPPH·和ABTS⁺清除能力的统计分析

Table 1 Statistical analysis on phenolics content and scavenging abilities of total phenolic extracts to DPPH· and ABTS⁺ from kernel of 76 individuals of *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch

统计量 ¹⁾ Statistic ¹⁾	含量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Content								清除能力/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) Scavenging ability	
	总黄酮 Total flavonoids	缩合单宁 Condensed tannins	总酚 Total phenolics	没食子酸 Gallic acid	儿茶素 (+)-catechin	表儿茶素 (-)-epicatechin	EGCG ²⁾	鞣花酸 Ellagic acid	DPPH·	ABTS ⁺ ·
$\bar{X}$	3.08	18.65	11.73	0.09	1.39	0.90	0.53	1.03	249.61	207.77
Max	7.04	49.16	26.66	0.28	3.22	4.14	1.46	2.69	618.04	382.99
Min	1.45	6.78	5.41	0.02	0.33	0.01	0.02	0.39	41.09	63.32
SD	1.05	7.48	3.72	0.04	0.80	0.81	0.27	0.53	110.18	72.30
CV/%	34.22	40.11	31.75	48.99	57.77	90.26	50.72	51.18	44.14	34.80

¹⁾ $\bar{X}$: 平均值 Mean; Max: 最大值 The maximum value; Min: 最小值 The minimum value; SD: 标准差 Standard deviation; CV: 变异系数 Coefficient of variation.

²⁾ EGCG: 表没食子儿茶素没食子酸酯 (-)-epigallocatechin gallate.

由表 1 可见:供试 76 株单株种仁中总黄酮含量为 1.45~7.04 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,平均值为 3.08 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$;缩合单宁含量为 6.78~49.16 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,平均值为 18.65 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$;总酚含量为 5.41~26.66 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,平均值为 11.73 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。5 种酚类化合物中,儿茶素含量最高,平均值为 1.39 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$;鞣花酸含量次之,平均值为 1.03 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$;没食子酸含量最低,平均值为 0.09 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。总酚提取物对DPPH·清除能力为41.09~618.04 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$,平均值为 249.61 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$;而总

酚提取物对 ABTS⁺清除能力为 63.32~382.99 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$,平均值为 207.77 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

由表 1 还可见:供试 76 株单株种仁中酚类成分含量及总酚提取物的抗氧化能力差异明显,变异系数达到 31.75%~90.26%。总黄酮、缩合单宁和总酚含量的变异系数分别为 34.22%、40.11%和 31.75%;没食子酸、儿茶素、表儿茶素、表没食子儿茶素没食子酸酯和鞣花酸 5 种酚类化合物含量的变异系数均在 48%以上,其中,表儿茶素含量的变异系数高达

90.26%。总酚提取物对 DPPH· 和 ABTS⁺· 清除能力的变异系数则分别为 44.14% 和 34.80%。

2.2 高酚类含量和高抗氧化能力的优株筛选

依据种仁中总黄酮、缩合单宁、总酚、没食子酸、儿茶素、表儿茶素、表没食子儿茶素没食子酸酯和鞣花酸含量以及总酚提取物对 DPPH· 和 ABTS⁺· 清除能力 10 个指标,从供试 76 株薄壳山核桃单株中分别筛选出排名前 10 的单株,结果见表 2。

由表 2 可见:供试 76 株单株中,70 号、30 号、23 号和 29 号单株种仁中总黄酮、缩合单宁和总酚含量均排名前 10。70 号单株种仁中总黄酮、缩合单宁和总酚含量均排名第 1,分别为 7.04、49.16 和 26.66 mg·g⁻¹,均与其他单株有显著 ($P<0.05$) 差异;30 号单株种仁中总黄酮和总酚含量排名第 2,其缩合单宁含量排名第 3,分别为 6.22、22.31 和 34.15 mg·g⁻¹。此外,23 号单株种仁中总黄酮、缩合单宁和总酚含量分别为 5.85、31.10 和 21.71 mg·g⁻¹,分别排名第 3、第 5 和第 3;29 号单株种仁中总黄酮、缩合单宁和总

酚含量分别为 4.69、31.60 和 17.45 mg·g⁻¹,分别排名第 5、第 4 和第 6。此外,63 号、20 号和 54 号单株种仁中总黄酮和缩合单宁含量也均较高,均排名前 10;而 2 号单株种仁中总黄酮和总酚含量也均排名前 10,其中总酚含量仅次于 70 号、30 号和 23 号。

供试 76 株单株中,仅 18 号单株种仁中没食子酸、儿茶素、表儿茶素、表没食子儿茶素没食子酸酯和鞣花酸含量均排名前 10,分别排名第 5、第 5、第 10、第 3 和第 3。没食子酸含量排名前 4 的单株为 70 号、4 号、29 号和 30 号单株;儿茶素含量排名前 4 的单株为 66 号、34 号、70 号和 44 号单株;表儿茶素含量排名前 4 的单株为 30 号、70 号、23 号和 20 号单株;表没食子儿茶素没食子酸酯含量排名前 4 的单株为 4 号、48 号、18 号和 66 号单株;鞣花酸含量排名前 4 的单株为 30 号、70 号、18 号和 49 号单株。其中,70 号单株的没食子酸含量排名第 1 (0.99 mg·g⁻¹),其儿茶素、表儿茶素和鞣花酸含量也均排名前 3;30 号单株的表儿茶素和鞣花酸含量均排名第 1,分别为 14.07

表 2 76 株薄壳山核桃单株种仁中酚类成分含量及总酚提取物对 DPPH· 和 ABTS⁺· 清除能力排名前 10 位的优株 ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾
Table 2 Top 10 superior individuals of phenolics content and scavenging abilities of total phenolic extracts to DPPH· and ABTS⁺· from kernel of 76 individuals of *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

排名 Ranking	单株编号 No. of individual	C ₁ /(mg·g ⁻¹)	单株编号 No. of individual	C ₂ /(mg·g ⁻¹)	单株编号 No. of individual	C ₃ /(mg·g ⁻¹)	单株编号 No. of individual	C ₄ /(mg·g ⁻¹)	单株编号 No. of individual	C ₅ /(mg·g ⁻¹)
1	70	7.04±0.24a	70	49.16±0.99a	70	26.66±0.08a	70	0.99±0.01a	66	22.27±0.42a
2	30	6.22±0.26b	63	34.25±1.13b	30	22.31±0.32b	4	0.72±0.01b	34	12.26±0.32b
3	23	5.85±0.32c	30	34.15±0.32b	23	21.71±0.27b	29	0.60±0.01bc	70	11.60±0.37b
4	10	5.30±0.41cd	29	31.60±0.95bc	2	17.81±0.17d	30	0.56±0.01c	44	9.95±0.21c
5	29	4.69±0.35d	23	31.10±0.37c	57	17.81±0.08d	18	0.55±0.01c	18	9.35±0.25c
6	63	4.57±0.23d	10	30.60±1.26c	29	17.45±0.08d	14	0.55±0.01c	12	9.23±0.31c
7	20	4.35±0.25d	54	30.08±0.21cd	26	15.71±0.12e	26	0.52±0.01c	76	8.98±0.18cd
8	54	4.32±0.31de	59	29.14±0.87d	18	15.53±0.06e	34	0.50±0.01cd	7	7.89±0.20d
9	49	4.04±0.25e	20	29.11±1.02d	51	15.36±0.19e	20	0.48±0.01cd	62	7.82±0.19d
10	2	4.00±0.05e	72	27.66±0.27e	22	15.02±0.12e	56	0.45±0.01d	4	7.68±0.29d

排名 Ranking	单株编号 No. of individual	C ₆ /(mg·g ⁻¹)	单株编号 No. of individual	C ₇ /(mg·g ⁻¹)	单株编号 No. of individual	C ₈ /(mg·g ⁻¹)	单株编号 No. of individual	SA ₁ /(μmol·g ⁻¹)	单株编号 No. of individual	SA ₂ /(μmol·g ⁻¹)
1	30	14.07±0.46a	4	5.20±0.26a	30	9.11±0.33a	70	618.04±2.90a	30	382.99±5.85a
2	70	12.89±0.31b	48	4.87±0.20a	70	7.16±0.24b	62	468.78±1.47b	70	348.03±12.31b
3	23	12.60±0.27b	18	4.67±0.13a	18	6.99±0.16b	69	468.16±1.98b	20	342.70±1.90bc
4	20	9.32±0.25c	66	4.22±0.15ab	49	6.80±0.32b	63	444.29±3.04c	62	335.95±13.17c
5	29	8.96±0.32cd	19	3.48±0.16b	4	6.71±0.26b	56	417.94±1.48d	10	335.64±9.23c
6	41	7.12±0.31d	16	3.31±0.28b	29	6.14±0.43bc	72	415.16±2.46d	11	329.18±7.20d
7	16	7.01±0.26d	39	3.17±0.20b	57	6.00±0.29c	21	410.72±3.65de	46	319.35±5.90e
8	66	6.01±0.19e	9	3.09±0.21b	44	5.80±0.17cd	58	387.29±1.68e	34	310.15±4.61f
9	62	5.13±0.19ef	1	2.99±0.35b	23	5.56±0.31cd	54	385.86±1.52e	69	303.32±15.93gh
10	18	4.85±0.20f	33	2.91±0.14b	7	5.22±0.24d	34	383.34±1.13e	18	295.61±13.07h

¹⁾ C₁: 总黄酮含量 Content of total flavonoids; C₂: 缩合单宁含量 Content of condensed tannins; C₃: 总酚含量 Content of total phenolics; C₄: 没食子酸含量 Content of gallic acid; C₅: 儿茶素含量 Content of (+)-catechin; C₆: 表儿茶素含量 Content of (-)-epicatechin; C₇: 表没食子儿茶素没食子酸酯含量 Content of (-)-epigallocatechin gallate; C₈: 鞣花酸含量 Content of ellagic acid; SA₁: DPPH·清除能力 Scavenging ability to DPPH·; SA₂: ABTS⁺·清除能力 Scavenging ability to ABTS⁺·. 同列中不同的小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant ($P<0.05$) difference.

和 $9.11 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 其没食子酸含量也较高, 排名第 4。另外, 4 号单株的表没食子儿茶素没食子酸酯含量排名第 1, 其没食子酸、儿茶素和鞣花酸含量也均排名前 10。

总酚提取物对 DPPH· 和 ABTS⁺· 清除能力均排名前 10 的单株为 70 号、62 号、69 号和 34 号单株。其中, 70 号单株的 DPPH· 和 ABTS⁺· 清除能力分别排名第 1 和第 2, 分别达到 618.04 和 $348.03 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$; 62 号单株的这 2 个抗氧化能力指标也均排名前 4; 30 号单株的 ABTS⁺· 清除能力排名第 1 ($382.99 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$), 且显著高于其他单株。

总体上看, 70 号单株种仁中, 除表没食子儿茶素没食子酸酯含量外, 其他 9 个指标均排名前 3, 其中, 5 个指标排名第 1, 3 个指标排名第 2, 1 个指标排名第 3, 说明 70 号单株不论是在酚类成分含量还是抗氧化能力方面均具有明显优势, 可作为高酚类含量和高抗氧化能力的双优株。若以高酚类含量作为筛选目标, 则除 70 号单株外, 30 号和 29 号单株也有 6 个酚类成分含量指标排名前 6, 可作为高酚类含量的优选单株。若以高抗氧化能力作为筛选目标, 则除 70 号单株外, 62 号、69 号和 34 号单株的 2 个抗氧化能力指标均排名前 10, 可作为高抗氧化能力的优选单株。

2.3 果实和种仁不同性状间的相关性分析

2.3.1 种仁中酚类成分含量及总酚提取物抗氧化能力间的相关性分析

对供试 76 株薄壳山核桃单株种

仁中酚类成分含量及总酚提取物抗氧化能力的 10 个指标间进行相关性分析, 结果见表 3。

由表 3 可见: 供试 76 株单株种仁中总黄酮含量、缩合单宁含量和总酚含量三者间均呈极显著 ($P < 0.01$) 正相关, 其中, 总酚含量与总黄酮含量的相关系数最大 (0.909), 缩合单宁含量与总黄酮含量以及总酚含量与缩合单宁含量的相关系数分别为 0.877 和 0.803; 5 种酚类化合物中, 仅表没食子儿茶素没食子酸酯含量与其他化合物的含量呈不显著相关, 其他 4 种酚类化合物的含量总体上均呈极显著正相关; 另外, 表没食子儿茶素没食子酸酯含量与总黄酮含量、缩合单宁含量和总酚含量呈不显著负相关, 儿茶素含量与缩合单宁含量呈不显著正相关, 其他 4 种酚类化合物的含量与总黄酮含量、缩合单宁含量和总酚含量呈显著 ($P < 0.05$) 或极显著正相关。

总黄酮含量、缩合单宁含量、总酚含量与总酚提取物对 DPPH· 清除能力和 ABTS⁺· 清除能力均呈极显著正相关, 其中, 缩合单宁含量与总酚提取物对 DPPH· 清除能力和 ABTS⁺· 清除能力的相关系数最大, 分别为 0.512 和 0.480。5 种酚类化合物中, 除表没食子儿茶素没食子酸酯含量外, 其他 4 种酚类化合物的含量与总酚提取物对 DPPH· 清除能力和 ABTS⁺· 清除能力总体上均呈显著或极显著正相关。此外, 总酚提取物对 DPPH· 清除能力与其对 ABTS⁺· 清除能力呈极显著正相关。

表 3 76 株薄壳山核桃单株种仁中酚类成分含量及总酚提取物抗氧化能力 10 个指标间的相关性分析结果¹⁾

Table 3 Result of correlation analysis on ten indexes of phenolics content and antioxidant ability of total phenolic extracts from kernel of 76 individuals of *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch¹⁾

指标 Index	各指标间的相关系数 Correlation coefficient among each index									
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	SA ₁	SA ₂
C ₁	1.000									
C ₂	0.877**	1.000								
C ₃	0.909**	0.803**	1.000							
C ₄	0.661**	0.621**	0.630**	1.000						
C ₅	0.233*	0.188	0.314**	0.390**	1.000					
C ₆	0.627**	0.531**	0.640**	0.556**	0.336**	1.000				
C ₇	-0.309	-0.331	-0.268	-0.029	0.165	-0.087	1.000			
C ₈	0.506**	0.308**	0.599**	0.597**	0.452**	0.631**	0.072	1.000		
SA ₁	0.350**	0.512**	0.415**	0.630**	0.419**	0.309**	0.031	0.312**	1.000	
SA ₂	0.448**	0.480**	0.467**	0.396**	0.246*	0.469**	0.038	0.357**	0.577**	1.000

¹⁾ C₁: 总黄酮含量 Content of total flavonoids; C₂: 缩合单宁含量 Content of condensed tannins; C₃: 总酚含量 Content of total phenolics; C₄: 没食子酸含量 Content of gallic acid; C₅: 儿茶素含量 Content of (+)-catechin; C₆: 表儿茶素含量 Content of (-)-epicatechin; C₇: 表没食子儿茶素没食子酸酯含量 Content of (-)-epigallocatechin gallate; C₈: 鞣花酸含量 Content of ellagic acid; SA₁: DPPH·清除能力 Scavenging ability to DPPH·; SA₂: ABTS⁺·清除能力 Scavenging ability to ABTS⁺·. *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$.

2.3.2 果实性状与种仁生化性状间的相关性分析
结合前期工作^[14]的部分数据,对供试 76 株薄壳山核桃单株种仁中酚类成分含量和总酚提取物抗氧化能力的 10 个指标与果实的 8 个性状指标(包括果实的坚果质量、种仁鲜质量、坚果壳厚度、坚果纵径、坚果横径、坚果果形指数、出仁率和含油率)进行相关性分析。结果见表 4。

由表 4 可见:供试 76 株单株种仁的 8 个酚类成

分含量指标与果实的 8 个性状指标总体上均无显著相关性,仅总黄酮含量和总酚含量与含油率呈极显著负相关;儿茶素含量和表没食子儿茶素没食子酸酯含量与坚果壳厚度呈显著正相关;表儿茶素含量与出仁率呈显著正相关。而总酚提取物的抗氧化能力 2 个指标中,仅总酚提取物对 DPPH·清除能力与含油率呈显著正相关。

表 4 76 株薄壳山核桃单株种仁中酚类成分含量及总酚提取物抗氧化能力 10 个指标与果实的 8 个性状指标间的相关性分析结果¹⁾
Table 4 Result of correlation analysis on ten indexes of phenolics content and antioxidant ability of total phenolic extracts from kernel with eight trait indexes of fruit of 76 individuals of *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch¹⁾

指标 Index	各指标间的相关系数 Correlation coefficient among each index							
	W ₁	W ₂	T _s	L ₁	L ₂	I _{NS}	R ₁	R ₂
C ₁	-0.217	-0.212	-0.175	0.033	-0.162	0.013	-0.037	-0.355**
C ₂	-0.212	-0.215	-0.179	0.115	-0.124	-0.035	-0.061	-0.142
C ₃	-0.064	-0.082	-0.080	0.055	-0.018	0.032	-0.061	-0.407**
C ₄	-0.024	-0.038	-0.006	0.036	0.071	-0.131	-0.063	0.029
C ₅	0.109	0.036	0.260*	0.122	0.052	0.120	-0.169	0.111
C ₆	0.103	0.170	-0.103	0.061	0.093	0.093	0.228*	0.013
C ₇	0.054	0.004	0.262*	0.017	0.065	-0.133	-0.083	0.211
C ₈	-0.001	0.024	0.024	-0.070	-0.003	-0.045	0.046	-0.032
SA ₁	0.214	0.145	0.181	-0.027	0.225	0.001	-0.118	0.235*
SA ₂	-0.075	-0.094	-0.042	-0.084	0.040	-0.137	-0.039	0.104

¹⁾ C₁: 总黄酮含量 Content of total flavonoids; C₂: 缩合单宁含量 Content of condensed tannins; C₃: 总酚含量 Content of total phenolics; C₄: 没食子酸含量 Content of gallic acid; C₅: 儿茶素含量 Content of (+)-catechin; C₆: 表儿茶素含量 Content of (-)-epicatechin; C₇: 表没食子儿茶素没食子酸酯含量 Content of (-)-epigallocatechin gallate; C₈: 鞣花酸含量 Content of ellagic acid; SA₁: DPPH·清除能力 Scavenging ability to DPPH·; SA₂: ABTS⁺·清除能力 Scavenging ability to ABTS⁺·; W₁: 坚果质量 Nut weight; W₂: 种仁鲜质量 Fresh weight of kernel; T_s: 坚果壳厚度 Shell thickness; D₁: 坚果纵径 Nut vertical diameter; D₂: 坚果横径 Nut horizontal diameter; I_{NS}: 坚果果形指数 Nut shape index; R₁: 出仁率 Kernel rate; R₂: 含油率 Oil content. *: P<0.05; **: P<0.01.

3 讨论和结论

上述测定结果表明:76 株薄壳山核桃单株种仁中酚类成分含量差异明显,总黄酮、缩合单宁和总酚含量的变异系数分别为 34.22%、40.11%和 31.75%;5 种酚类化合物含量的变异系数均在 48%以上,其中,不同单株间表儿茶素含量的变异系数达到 90.26%。说明不同薄壳山核桃单株种仁中酚类成分含量存在较大差异,这种差异既与不同单株的生长环境和生长状况的差异有关,也与各单株的遗传特性和次生代谢途径的差异有关,是薄壳山核桃高酚类含量品种选育的基础。

薄壳山核桃种仁中酚类成分含量丰富。Sarkis 等^[19]的比较结果显示:薄壳山核桃种仁中的酚类成分含量显著高于榛子 (*Corylus heterophylla* Fisch.) 和

向日葵 (*Helianthus annuus* Linn.) 等其他油料作物。本研究结果显示:薄壳山核桃种仁中不仅缩合单宁含量的平均值较高 (18.65 mg · g⁻¹),其总酚含量的平均值也达到 11.73 mg · g⁻¹,明显高于常见食用坚果腰果 (*Anacardium occidentale* Linn.)、松子〔部分松属 (*Pinus* Linn.) 植物的种子〕和开心果〔阿月浑子 (*Pistacia vera* Linn.)〕的总酚含量(分别为 1.37、0.32 和 8.67 mg · g⁻¹)^[20]。形成这一现象的原因一方面与植物本身的遗传特性、次生代谢途径以及生长状况或生长环境的差异有关,另一方面与总酚含量测定过程中所用标准品以及总酚提取方法的差异有关。通常植物中总酚含量测定所用的标准品有绿原酸^[8]、鞣花酸^[6]和没食子酸^[21-22]等,但由于薄壳山核桃种仁中含量最高的酚类成分是鞣花酸^[17],因而本研究选用鞣花酸作为总酚测定的标准品。De La Rosa 等^[17]的研究结果显示:经过酸解的薄壳山核桃提取

液中鞣花酸和没食子酸的含量较高,而未经过酸解的提取液中儿茶素和表儿茶素的含量较高;Villarreal-Lozoya 等^[8]用 NaOH 和 HCl 溶液对薄壳山核桃总酚提取液进行碱解和酸解,则总酚提取液中鞣花酸含量最高 ($2.50 \sim 4.73 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),没食子酸含量次之 ($0.65 \sim 1.30 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),儿茶素和表儿茶素含量很低;而在本研究中,没有对总酚提取液进行碱解或酸解,则总酚提取液中儿茶素含量最高。形成这一差异的原因为薄壳山核桃种仁中含量较多的缩合单宁类聚合物在碱性或酸性条件下可被分解成没食子酸和鞣花酸,因此,未被碱解或酸解的薄壳山核桃种仁的总酚提取液中儿茶素含量较高,而碱解或酸解之后鞣花酸和没食子酸含量较高。

Wu 等^[9]研究结果表明:在薄壳山核桃、松子、开心果、腰果和榛子等 9 种常见的食用坚果中,薄壳山核桃的抗氧化能力最强 ($179.40 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$),其总酚含量也最高 ($20.16 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。Villarreal-Lozoya 等^[8]认为,薄壳山核桃种仁的抗氧化能力与酚类成分的含量密切相关,特别是缩合单宁含量。本研究中,除表没食子儿茶素没食子酸酯外,76 株薄壳山核桃单株种仁中多数酚类成分含量与总酚提取物的抗氧化能力具有极显著相关性,而果实性状指标与总酚提取物的抗氧化能力总体上无显著相关性,可见薄壳山核桃种仁所含的酚类成分均具有较明显的抗氧化能力;其中,缩合单宁含量与总酚提取物对 DPPH· 和 ABTS⁺·清除能力的相关系数均较大,分别为 0.512 和 0.480,而 5 种酚类化合物与总酚提取物对 DPPH· 和 ABTS⁺·清除能力的相关系数均相对较小,可见不同酚类成分的抗氧化能力有一定差异。缩合单宁可能是薄壳山核桃种仁中主要的抗氧化成分,应进一步加强对薄壳山核桃种仁中缩合单宁类成分的研究。

李永荣等^[23]认为,选育薄壳山核桃优良品种的关键是重视出现在不同性状中的极端值。在供试 76 株薄壳山核桃单株中,除表没食子儿茶素没食子酸酯含量外,70 号单株种仁的其他 9 个指标均排名前 3,其中 5 个指标排名第 1,其总酚提取物对 DPPH·清除能力 ($618.04 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) 显著高于其他单株,且其种仁中总黄酮、缩合单宁和总酚含量也最高,表明 70 号单株可作为高酚类含量和高抗氧化能力的双优单株。除 70 号单株外,30 号和 29 号单株也有 6 个酚类成分含量指标排名前 6,可作为以高酚类含量为筛选目标的优选单株;62 号、69 号和 34 号单株的 2 个抗氧化

能力指标均排名前 10,可作为以高抗氧化能力为筛选目标的优选单株。

综上所述,不同单株种仁中酚类成分的含量及总酚提取物的抗氧化能力均存在明显差异,这为定向选育高酚类含量和高抗氧化能力的薄壳山核桃优良品种提供了种质资源。

参考文献:

- [1] WORLEY R E. Compendium of Pecan Production and Research [M]. Lillington: Edwards Brothers Inc., 2002: 1.
- [2] 张计育, 李永荣, 宣继萍, 等. 美国和中国薄壳山核桃产业发展现状分析[J]. 天津农业科学, 2014, 20(9): 47-51.
- [3] BOLLING B W, CHEN C-Y O, MCKAY D L, et al. Tree nut phytochemicals: composition, antioxidant capacity, bioactivity, impact factors. A systematic review of almonds, Brazils, cashews, hazelnuts, macadamias, pecans, pine nuts, pistachios and walnuts [J]. Nutrition Research Reviews, 2011, 24(2): 244-275.
- [4] SENTER S D, HORVAT R J, FORBUS W R, Jr. Relation between phenolic acid content and stability of pecan in accelerated storage [J]. Journal of Food Science, 1980, 45(5): 1380-1382, 1392.
- [5] DO PRADO A C P, DA SILVA H S, DA SILVEIRA S M, et al. Effect of the extraction process on the phenolic compounds profile and the antioxidant and antimicrobial activity of extracts of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] shell [J]. Industrial Crops and Products, 2014, 52(1): 552-561.
- [6] DE LA ROSA L A, ALVAREZ-PARRILLA E, SHAHIDI F. Phenolic compounds and antioxidant activity of kernels and shells of Mexican pecan (*Carya illinoensis*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(1): 152-162.
- [7] MALIK N S A, PEREZ J L, LOMBARDINI L, et al. Phenolic compounds and fatty acid composition of organic and conventional grown pecan kernels [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 89(13): 2207-2213.
- [8] VILLARREAL-LOZOYA J E, LOMBARDINI L, CISNEROS-ZEVALLOS L. Phytochemical constituents and antioxidant capacity of different pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] cultivars [J]. Food Chemistry, 2007, 102(4): 1241-1249.
- [9] WU X, BEECHER G R, HOLDEN J M, et al. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(12): 4026-4037.
- [10] ZHAO J, WANG J, CHEN Y, et al. Anti-tumor-promoting activity of a polyphenolic fraction isolated from grape seeds in the mouse skin two-stage initiation-promotion protocol and identification of procyanidin B5-3'-gallate as the most effective antioxidant constituent [J]. Carcinogenesis, 1999, 20(9): 1737-1745.
- [11] MERTENS-TALCOTT S U, PERCIVAL S S. Ellagic acid and quercetin interact synergistically with resveratrol in the induction of apoptosis and cause transient cell cycle arrest in human leukemia

- cells[J]. Cancer Letters, 2005, 218(2): 141-151.
- [12] LI T M, CHEN G W, SU C C, et al. Ellagic acid induced p53/p21 expression, G1 arrest and apoptosis in human bladder cancer T24 cells [J]. Anticancer Research, 2005, 25 (2A): 971-979.
- [13] AWIKA J M, ROONEY L W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health[J]. Phytochemistry, 2004, 65 (9): 1199-1221.
- [14] 罗会婷,贾晓东,翟敏,等. 76株薄壳山核桃实生单株的果实品质差异及综合评价[J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26 (1): 47-54.
- [15] BOUALI I, TRABELSI H, ABDALLAH I B, et al. Changes in fatty acid, tocopherol and xanthophyll contents during the development of Tunisian-grown pecan nuts [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2013, 90(12): 1869-1876.
- [16] JIA Z, TANG M, WU J. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals[J]. Food Chemistry, 1999, 64(4): 555-559.
- [17] DE LA ROSA L, VAZQUEZ-FLORES A A, ALVAREZ-PARRILLA E, et al. Content of major classes of polyphenolic compounds, antioxidant, antiproliferative, and cell protective activity of pecan crude extracts and their fractions[J]. Journal of Functional Foods, 2014, 7(1): 219-228.
- [18] BRAND-WILLIAMS W, CUVELIER M E, BERSET C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity[J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(1): 25-30.
- [19] SARKIS J R, CÔRREA A P F, MICHEL I, et al. Evaluation of the phenolic content and antioxidant activity of different seed and nut cakes from the edible oil industry[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2014, 91(10): 1773-1782.
- [20] KORNSTEINER M, WAGNER K-H, ELMADFA I. Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types[J]. Food Chemistry, 2006, 98(2): 381-387.
- [21] DO PRADO A C P, ARAGÃO A M, FETT R, et al. Antioxidant properties of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] shell infusion[J]. Grasas Y Aceites, 2009, 60(4): 330-335.
- [22] DO PRADO A C P, ARAGÃO A M, FETT R, et al. Phenolic compounds and antioxidant activity of pecan [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] kernel cake extracts[J]. Grasas Y Aceites, 2009, 60(5): 458-467.
- [23] 李永荣,吴文龙,方亮,等. 实生起源的仁用薄壳山核桃优株初步筛选[J]. 林业科技开发, 2010, 24(2): 84-87.

(责任编辑:郭严冬)

《植物遗传资源学报》2019年征订启事

《植物遗传资源学报》是中国农业科学院作物科学研究所和中国农学会共同主办的学术期刊,为中国科技核心期刊、全国中文核心期刊和中国科学引文数据库(CSCD)核心期刊,被国内多家数据库及CA化学文摘(美国)(2014)收录,荣获“2015年度中国自然资源学会高影响力十佳期刊”。据《中国科技期刊引证报告(核心版)》2017年统计,《植物遗传资源学报》影响因子为1.180。据CNKI《中国学术期刊影响因子年报》2017年统计,《植物遗传资源学报》复合影响因子为1.663,综合影响因子为1.294,较2016年分别提高了11.24%和3.03%。

报道内容:有关植物遗传资源基础理论研究、应用研究方面的研究成果、创新性学术论文和高水平综述或评论。如种质资源的考察、收集、保存、评价、利用、创新,信息学、管理学

等;起源、演化、分类等系统学;基因发掘、鉴定、克隆、基因文库建立、遗传多样性研究。

本刊为双月刊,A4开本,216页,彩色铜版纸印刷。每期定价68元,全年408元。国内统一连续出版物号CN 11-4996/S,国际标准连续出版物号ISSN 1672-1810。全国各地邮局均可订阅,邮发代号82-643。

编辑部常年办理订阅手续,如需挂号每期另加挂号费3元。地址:北京市海淀区中关村南大街12号《植物遗传资源学报》编辑部(邮编100081);电话:010-82105794,010-82109494;网址:www.zwyczy.cn;E-mail:zwyczyxb2003@163.com, zwyczyxb2003@caas.cn, zwyczyxb2003@sina.com。另外,编辑部还开通了微信公众号和作者QQ群(群号372958204),欢迎关注和咨询。