

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.02.004

41 个薄壳山核桃品种果实营养成分与脂肪酸组成的比较分析

常 君¹, 任华东¹, 姚小华¹, 杨水平²,
张潇丹², 张成才¹, 王开良¹

1. 国家林业和草原局亚热带林木培育重点实验室/中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400;
2. 西南大学 资源环境学院, 重庆 400716

摘要: 通过对比分析薄壳山核桃不同品种果实营养成分和脂肪酸组成间的变异特性和差异性, 为多目标薄壳山核桃良种选育提供一定的理论基础。以 41 个薄壳山核桃品种为研究对象, 在果实成熟期取样测定果实中粗脂肪、蛋白质、可溶性糖和单宁等营养成分及脂肪酸组成, 对比分析营养成分和脂肪酸组成及其相关性。结果表明, 种仁粗脂肪、蛋白质、可溶性糖和单宁质量分数在参试品种间均存在一定的变异, 种仁单宁质量分数品种间变异程度最大, 可溶性糖和蛋白质质量分数变异程度次之, 粗脂肪质量分数品种间变异较小。方差分析结果表明, 粗脂肪、蛋白质、可溶性糖和单宁质量分数在参试品种间差异有统计学意义。薄壳山核桃种仁油脂主要由棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生酸和顺-11-二十碳烯酸组成, 这些脂肪酸在参试品种间均存在一定的变异, 不同脂肪酸质量分数在品种间表现出差异有统计学意义。饱和脂肪酸总量与棕榈酸和硬脂酸存在极显著正相关关系, 不饱和脂肪酸总量与饱和脂肪酸总量、棕榈酸和硬脂酸存在极显著负相关关系; 油酸相对质量分数与棕榈酸存在极显著负相关关系。以当前主要栽培品种马罕为对照, 通过对 41 个薄壳山核桃品种果实营养成分与脂肪酸组成对比分析, 初选出 80 号等 9 个品种作为油用型品种, 在进一步复选的基础上逐步加以开发利用; 将 14 号、64 号和 45 号品种初选为高蛋白薄壳山核桃品种, 在进一步综合评价的基础上, 为蛋白类产品开发利用研究提供支撑; 1 号等 12 个品种初选为鲜食型品种, 后期在对种仁氨基酸组成、矿质元素、果实性状和感官等综合评价的基础上, 进一步复选并加以开发利用; 51 号等 4 个品种在油用资源开发上有极高的利用前景, 是进一步进行高档食用油品种改良的好资源。

关键词: 薄壳山核桃; 营养成分; 脂肪酸; 相关性

中图分类号: S330

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2021)02-0020-11

薄壳山核桃(*Carya illinoensis*)又名美国山核桃, 为胡桃科(Julandaceae)山核桃属(*Carya*)的一种落叶乔木^[1-4], 全世界 20 多个国家都有引种或种植^[5], 其坚果富含丰富的粗脂肪和蛋白质, 种仁蛋白含 17 种氨基酸, 其中 7 种为人体必需的氨基酸, 种仁含油率介于 51%~69%之间, 其油脂组成以油酸、亚油酸等不饱和脂肪酸为主, 不饱和脂肪酸总量在 90%以上, 是世界著名的干果油料树种之一。薄壳山核桃树体高大,

收稿日期: 2019-11-07

基金项目: 国家林业和草原局亚热带林木培育重点实验室开放基金项目(RISF2019PY01); 国家重点研发计划项目(2019YFD1001603)。

作者简介: 常 君, 助理研究员, 主要从事经济林栽培与育种的研究。

通信作者: 任华东, 副研究员。

树干通直,树姿优美,也是良好的材用和庭院绿化树种。薄壳山核桃已在我国14个省(直辖市)人工栽培,备受各级政府部门、林农的重视和喜爱,近年来随着薄壳山核桃在我国的快速发展,有关薄壳山核桃不同功能良种筛选与评价成为相关学者关注的重点研究方向。

目前全国审(认)定的薄壳山核桃品种共37个^[6],主要围绕果实品质、单果质量及产量展开。李川等^[7]对12个薄壳山核桃无性系果实性状指标的相关分析表明,薄壳山核桃果实的外形及大小可以初步判断核果的性状和大小,为野外优树单株选择提供了一定的理论基础;陈芬等^[8]对33个薄壳山核桃无性系果实性状指标相关分析也得出相似的结论,在对薄壳山核桃果实营养成分和脂肪酸组成方面,前人^[9-11]以“波尼”“马罕”等已审(认)定品种为主要研究对象,比较了不同品种间营养成分及脂肪酸组成间的差异;常君等^[12]对浙江省余杭区、建德市和安吉县3地50多个无性系果实含油率及脂肪酸组成进行了测定分析,并在此基础上筛选出6个较优无性系;陈芬等^[13]对27个薄壳山核桃无性系果实经济和品质性状进行了比较分析,并初步筛选出7个品质性状优良的主栽品种。罕有薄壳山核桃品种营养成分与脂肪酸组成的比较研究报告,对薄壳山核桃果实营养成分分析中,未见有对种仁单宁质量分数的比较分析,而果实营养成分和脂肪酸组成与薄壳山核桃果实品质及选育利用方向密切相关,因此本文以浙江省金华市东方红林场内种植的41个薄壳山核桃品种为研究对象,测定分析其果实营养成分与脂肪酸组成,以期能为薄壳山核桃优良种质的筛选与利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料取自浙江省金华市东方红林场8年生薄壳山核桃品种试验林,试验区属亚热带季风气候,四季分明,气温适中,雨量充沛。年平均气温17.3℃,最热月(7月)平均气温为29.4℃,极端最高气温为41.2℃;最冷月(1月)平均气温为5℃,极端最低气温为-9.6℃。无霜期257d,年平均降水量1406mm,相对湿度为77%,年平均蒸发量981.6mm。试验地为丘陵缓坡地,普通红壤,立地条件较一致,土地肥力一般。试验于2007年12月种植,每年进行常规人工管理,试验采用随机区组设计,5株小区3次重复,本文参试品种共41个,于2015年10月薄壳山核桃果实成熟期,每小区取果实30个,带回实验室将青皮剥去,取出坚果用于测定粗脂肪、蛋白质、可溶性糖、单宁质量分数和脂肪酸组成。

1.2 测定方法

粗脂肪质量分数测定参照GB/T14772-2008《食品中粗脂肪的测定》,蛋白质质量分数测定参照GB5009.5-2010《食品中蛋白质的测定》,可溶性糖质量分数测定参照NY/T1278-2007《蔬菜及其制品中可溶性糖的测定 铜还原碘量法》,单宁质量分数测定参照NY/T1600-2008《水果、蔬菜及其制品中单宁质量分数的测定 分光光度法》,脂肪酸甲酯测定参照GB/T17376-2008《动植物油脂脂肪酸甲酯制备》和GB/T17377-2008《动植物油脂脂肪酸甲酯的气相色谱分析》方法进行。

1.3 数据处理

所有数据采用Excel, DPS 14.5 数据处理软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 薄壳山核桃不同品种种仁营养成分比较分析

粗脂肪、蛋白质、可溶性糖和单宁是影响薄壳山核桃种仁品质的重要质量指标。对41个参试品种种仁粗脂肪、蛋白质、可溶性糖和单宁质量分数的测定结果分析表明(表1):种仁粗脂肪、蛋白质、可溶性糖和单宁质量分数在参试品种间均存在一定的变异,种仁单宁质量分数品种间变异程度最大,变异系数(CV)为20.33%,超过20%,属高度变异。可溶性糖和蛋白质质量分数变异程度较大,变异系数分别为18.28%和12.19%,均小于20%,属于中度变异。粗脂肪质量分数品种间变异较小,变异系数仅为

7.22%，小于10%，属低度变异。进一步方差分析结果表明：粗脂肪、蛋白质、可溶性糖和单宁质量分数参试品种间的差异达统计学意义。此次测定的41个薄壳山核桃品种种仁粗脂肪质量分数介于51.57%~69.47%之间，均值为62.24%；蛋白质质量分数介于(49.77~105.23) mg/g之间，均值为76.63 mg/g；可溶性糖质量分数介于2.44%~5.06%之间，均值为3.76%；种仁单宁质量分数介于(4.20~11.90) mg/g之间，均值为6.75 mg/g。马罕是我国当前的主栽品种之一，以马罕品种为对照，结合参试品种平均值，80号、51号、34号、26号、威士顿、28号、黄山1号等20个品种粗脂肪质量分数高于马罕且高于参试品种平均值；14号、64号、45号、16号、23号、51号、31号等19个品种蛋白质质量分数高于马罕且高于参试品种均值；31号、7号、8号、5号、22号、64号、11号等24个品种可溶性糖质量分数高于马罕且高于参试品种均值；1号、51号、3号、12号、30号、22号、45号等18个品种单宁质量分数小于马罕且小于所有参试品种平均值。

表 1 薄壳山核桃不同品种种仁主要内含物变异分析

| 品种 | 粗脂肪/% | 蛋白质/(mg·g ⁻¹) | 可溶性糖/% | 单宁/(mg·g ⁻¹) |
|-----|----------------------|---------------------------|-----------------|--------------------------|
| 1号 | 56.76±5.51JKLM | 60.30±4.25DE | 4.24±1.15ABCDE | 4.20±0.73e |
| 3号 | 60.26±2.00FGHIJKL | 49.77±0.87E | 2.44±0.19F | 4.85±0.10de |
| 5号 | 59.97±5.29GHIJKL | 72.37±11.65BCDE | 4.62±0.92ABC | 5.57±0.85bcde |
| 7号 | 61.09±4.90CDEFGHIJKL | 70.67±4.88BCDE | 4.83±0.45AB | 5.46±0.66bcde |
| 8号 | 66.56±1.44ABCDEF | 81.27±13.76ABCD | 4.67±0.40ABC | 7.27±2.05bcde |
| 9号 | 64.01±1.15ABCDEF | 83.40±11.54ABCD | 3.73±0.42ABCDEF | 8.48±2.55b |
| 11号 | 65.75±1.54ABCDEF | 65.47±16.12BCDE | 4.57±0.71ABCD | 7.03±1.48bcde |
| 12号 | 63.95±1.50ABCDEF | 73.20±7.28BCDE | 4.29±0.42ABCDEF | 4.91±0.11cde |
| 13号 | 61.91±0.73BCDEFGHIJK | 80.00±2.62ABCD | 2.66±0.41EF | 7.51±1.59bcde |
| 14号 | 57.72±1.47HIJKLM | 105.23±19.18A | 2.98±0.55CDEF | 7.39±0.51bcde |
| 16号 | 60.74±3.71FGHIJKL | 88.17±0.85ABCD | 3.15±0.10BCDEF | 11.90±0.10a |
| 17号 | 61.79±0.16CDEFGHIJK | 81.00±3.99ABCD | 4.04±0.78ABCDEF | 6.83±0.36bcde |
| 19号 | 65.01±3.07ABCDEF | 79.83±19.66ABCD | 3.78±1.31ABCDEF | 6.72±1.87bcde |
| 20号 | 51.57±2.38M | 79.10±20.75ABCD | 3.80±0.34ABCDEF | 5.62±0.52bcde |
| 21号 | 56.28±8.80JKLM | 75.97±14.29BCDE | 4.11±1.61ABCDEF | 8.02±1.54bcd |
| 22号 | 53.78±3.66LM | 74.43±9.84BCDE | 4.59±0.87ABC | 5.36±0.99bcde |
| 23号 | 56.73±1.69JKLM | 87.30±10.84ABCD | 3.94±0.70ABCDEF | 6.00±1.18bcde |
| 26号 | 68.51±1.27ABCD | 78.67±3.00ABCD | 3.29±0.16BCDEF | 7.42±1.97bcde |
| 27号 | 55.11±1.85KLM | 78.43±2.38ABCD | 3.42±0.11ABCDEF | 5.47±0.10bcde |
| 28号 | 67.79±4.41ABCDEF | 72.20±9.08BCDE | 3.81±0.91ABCDEF | 6.79±2.02bcde |
| 29号 | 60.84±1.93EFGHIJKL | 74.07±15.70BCDE | 4.42±0.35ABCDEF | 6.83±3.79bcde |
| 30号 | 64.29±0.63ABCDEF | 70.40±4.42BCDE | 3.93±0.74ABCDEF | 4.97±0.60cde |
| 31号 | 60.97±0.94EFGHIJKL | 83.40±0.66ABCD | 5.06±0.26A | 8.02±0.01bcd |
| 32号 | 64.77±0.92ABCDEF | 69.23±3.50BCDE | 2.44±0.51F | 6.18±0.44bcde |
| 34号 | 68.56±1.35ABC | 70.87±7.41BCDE | 2.90±0.21CDEF | 5.88±0.58bcde |
| 35号 | 64.43±3.13ABCDEF | 75.53±2.70BCDE | 2.81±0.41DEF | 7.24±0.65bcde |
| 36号 | 66.44±0.46ABCDEF | 70.50±8.34BCDE | 4.07±0.67ABCDEF | 7.68±1.43bcd |
| 42号 | 56.08±2.39JKLM | 75.20±11.49BCDE | 3.68±0.16ABCDEF | 6.35±1.10bcde |
| 45号 | 62.47±3.67ABCDEF | 91.47±20.89ABC | 4.09±0.98ABCDEF | 5.45±1.25bcde |

续表 1

| 品种 | 粗脂肪/% | 蛋白质/(mg·g ⁻¹) | 可溶性糖/% | 单宁/(mg·g ⁻¹) |
|------|----------------------|---------------------------|-----------------|--------------------------|
| 48号 | 64.23±3.38ABCDEFGHI | 74.37±13.21BCDE | 4.35±1.40ABCDE | 7.39±2.26bcde |
| 51号 | 69.39±1.22AB | 83.70±11.92ABCD | 4.21±0.23ABCDE | 4.69±0.48de |
| 52号 | 61.75±2.24CDEFGHIJK | 73.00±6.92BCDE | 4.11±0.96ABCDEF | 8.41±5.26b |
| 64号 | 56.33±0.98JKLM | 93.93±0.60AB | 4.57±0.11ABCD | 6.73±0.20bcde |
| 65号 | 64.48±1.69ABCDEFHGH | 70.10±16.91BCDE | 3.25±0.84BCDEF | 6.90±0.63bcde |
| 66号 | 60.92±6.22EFGHIJKL | 77.60±3.35ABCDE | 3.84±0.25ABCDEF | 6.98±2.82bcde |
| 72号 | 63.03±0.91ABCDEFHGHJ | 81.20±6.16ABCD | 2.66±0.37EF | 6.70±1.13bcde |
| 80号 | 69.47±0.15A | 64.90±1.75CDE | 2.94±0.30CDEF | 7.64±1.53bcd |
| 99号 | 61.46±0.95CDEFGHIJK | 69.33±5.09BCDE | 3.77±0.88ABCDEF | 6.82±1.38bcde |
| 马罕 | 61.19±2.11CDEFGHIJK | 75.23±9.66BCDE | 3.46±0.73ABCDEF | 7.29±3.50bcde |
| 威士顿 | 68.36±0.65ABCDE | 79.23±10.46ABCD | 3.47±0.87ABCDEF | 7.60±0.41bcd |
| 黄山1号 | 67.24±0.83ABCDEFG | 81.83±12.79ABCD | 3.14±0.03BCDEF | 8.27±0.26bc |
| 均值 | 62.24 | 76.63 | 3.76 | 6.75 |
| CV/% | 7.22 | 12.19 | 18.28 | 20.33 |
| MS | 60.66 | 261.66 | 1.42 | 5.65 |
| F值 | 7.29** | 2.30** | 3.20** | 2.07** |

注:大写字母和**表示 $p<0.01$,小写字母表示 $p<0.05$,差异有统计学意义;CV为变异系数,MS为均方。

2.2 薄壳山核桃不同品种脂肪酸组成比较分析

由表2可知,薄壳山核桃种仁油脂主要由棕榈酸(C16:0)、硬脂酸(C18:0)、油酸(C18:1)、亚油酸(C18:2)、亚麻酸(C18:3)、花生酸(C20:0)和顺-11-二十碳烯酸(C20:1)组成,个别品种花生酸未检测出。棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生酸和顺-11-二十碳烯酸在参试品种间均存在一定的变异,其中花生酸变异系数(CV)超过20%,为30.31%,属于高度变异;亚麻酸、亚油酸和硬脂酸变异系数分别为18.95%,16.59%和13.12%,小于20%,属中度变异;油酸、棕榈酸和顺-11-二十碳烯酸变异系数分别为5.68%,6.76%和9.15%,小于10%,属低度变异。方差分析结果表明,不同脂肪酸质量分数在品种间差异有统计学意义。此次测定的41个薄壳山核桃品种油脂组成中以油酸质量分数最高,亚油酸次之。油酸质量分数介于61.37%~76.30%之间,均值为68.60%;亚油酸质量分数介于14.75%~28.43%之间,均值为21.81%;棕榈酸和硬脂酸质量分数相对较高,棕榈酸质量分数介于4.73%~6.20%之间,均值为5.56%;硬脂酸质量分数介于1.93%~3.50%之间,均值为2.46%。亚麻酸、花生酸和顺-11-二十碳烯酸质量分数相对较低,亚麻酸质量分数介于0.85%~1.70%之间,均值为1.19%;花生酸质量分数介于0.00%~0.13%之间,均值为0.09%;顺-11-二十碳烯酸质量分数介于0.20%~0.30%之间,均值为0.28%。

薄壳山核桃种仁中不饱和脂肪酸主要由单不饱和脂肪酸(油酸和顺-11-二十碳烯酸)与多不饱和脂肪酸(亚油酸和亚麻酸)组成,饱和脂肪酸主要由棕榈酸、硬脂酸和花生酸组成。由表3可知,单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸、不饱和脂肪酸总量和饱和脂肪酸总量在参试品种间均存在一定程度的变异,整体变异幅度不是很大。不饱和脂肪酸总质量分数介于90.10%~92.63%之间,均值为91.88%;饱和脂肪酸总质量分数介于7.33%~9.80%之间,均值为8.11%。进一步方差分析结果表明,单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸、不饱和脂肪酸总量和饱和脂肪酸总量在参试品种间差异有统计学意义,不饱和脂肪酸中主要以油酸为主。综合表2和表3测定结果,以当前主要栽培品种马罕及所有参试品种均值为对照,12号、14号、45号、66号、51号、黄山1号和16号等15个品种不饱和脂肪酸总质量分数和油酸质量分数均高于对照且高于参试品种平均值。

表 2 薄壳山核桃不同品种种仁油脂脂肪酸相对质量分数变异分析

| 品种 | 棕榈酸/ % | 硬脂酸/ % | 花生酸/ % | 油酸/ % | 亚油酸/ % | 亚麻酸/ % | 顺-11- 二十碳烯酸/% |
|------|-----------------|------------------|--------------|--------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| 1号 | 5.77±0.15ABCDEF | 2.27±0.15FGHIJKL | 0.10±0.00ab | 71.23±2.28ABCDEF | 19.40±2.29HIJKLMN | 0.97±0.15GHIJ | 0.30±0.00A |
| 3号 | 6.20±0.10A | 3.50±0.10A | 0.10±0.00ab | 72.60±0.10ABCDEF | 16.30±0.10LMN | 0.90±0.05HIJ | 0.30±0.00A |
| 5号 | 6.03±0.06ABCD | 2.23±0.15GHIJKL | 0.07±0.06abc | 65.63±2.04HIJKLMN | 24.27±2.03ABCDEF | 1.43±0.15ABCDE | 0.30±0.00A |
| 7号 | 5.57±0.12ABCDEF | 2.23±0.06GHIJKL | 0.10±0.00ab | 68.57±1.10CDEF | 22.00±1.04CDEF | 1.23±0.06BCDEF | 0.30±0.00A |
| 8号 | 5.17±0.64GHI | 2.53±0.15CDEF | 0.10±0.00ab | 73.70±5.53ABCD | 17.17±4.92KLMN | 1.00±0.26FGHIJ | 0.30±0.00A |
| 9号 | 5.20±0.20GHI | 2.40±0.10EFGHIJK | 0.10±0.10ab | 72.75±2.35ABCDEF | 17.75±2.75JKLMN | 1.00±0.10FGHIJ | 0.30±0.00A |
| 11号 | 6.00±0.10ABCD | 2.25±0.05GHIJKL | 0.10±0.00ab | 62.50±1.00MN | 27.25±0.95ABC | 1.60±0.20AB | 0.23±0.06AB |
| 12号 | 5.27±0.25FGHI | 2.03±0.21KL | 0.03±0.06bc | 70.87±2.37ABCDEF | 20.37±1.79GHIJKL | 1.10±0.17EFGHIJ | 0.30±0.00A |
| 13号 | 5.40±0.10CDEF | 2.80±0.20BCDE | 0.07±0.06abc | 67.23±2.25EFGHIJKL | 23.13±2.27ABCDEF | 1.10±0.10EFGHIJ | 0.30±0.00A |
| 14号 | 4.73±0.06I | 2.57±0.06CDEF | 0.10±0.00ab | 75.13±0.87AB | 16.17±0.87MN | 1.03±0.06EFGHIJ | 0.30±0.00A |
| 16号 | 5.30±0.10EFGHI | 2.50±0.10EFGHIJK | 0.10±0.00ab | 73.10±0.10ABCDE | 17.70±0.10JKLMN | 1.10±0.10EFGHIJ | 0.30±0.00A |
| 17号 | 5.47±0.06CDEF | 2.15±0.05HIJKL | 0.10±0.00ab | 67.10±1.10FGHIJKL | 23.70±1.00ABCDEF | 1.20±0.10BCDEF | 0.30±0.00A |
| 19号 | 5.60±0.20ABCDEF | 2.40±0.20EFGHIJK | 0.10±0.00ab | 65.80±0.20HIJKLMN | 24.30±0.10ABCDEF | 1.45±0.15ABCD | 0.30±0.00A |
| 20号 | 5.97±0.31ABCDE | 2.17±0.21HIJKL | 0.07±0.06abc | 62.83±2.39LMN | 27.10±1.91ABCD | 1.57±0.21ABC | 0.27±0.06AB |
| 21号 | 5.97±0.31ABCDE | 2.10±0.17IJKL | 0.10±0.00ab | 63.53±2.80KLMN | 26.53±2.64ABCDEF | 1.57±0.12ABC | 0.27±0.06AB |
| 22号 | 5.80±0.36ABCDEF | 1.93±0.15L | 0.10±0.00ab | 62.57±1.77MN | 27.67±1.31AB | 1.60±0.10AB | 0.27±0.06AB |
| 23号 | 5.90±0.44ABCDEF | 2.20±0.10HIJKL | 0.07±0.06abc | 61.37±2.46N | 28.43±1.81A | 1.70±0.35A | 0.23±0.06AB |
| 26号 | 5.20±0.20GHI | 2.65±0.05CDEF | 0.10±0.00ab | 67.85±2.95EFGHIJKL | 22.80±2.60BCDEF | 1.10±0.20EFGHIJ | 0.30±0.00A |
| 27号 | 5.27±0.38FGHI | 3.13±0.38AB | 0.10±0.00ab | 73.47±2.44ABCD | 16.80±1.73KLMN | 0.87±0.12IJ | 0.30±0.00A |
| 28号 | 6.17±0.64AB | 2.07±0.21IJKL | 0.07±0.06abc | 64.57±5.66JKLMN | 25.50±4.26ABCDEF | 1.37±0.64ABCDEF | 0.23±0.06AB |
| 29号 | 5.70±0.26ABCDEF | 2.40±0.10EFGHIJK | 0.10±0.00ab | 69.73±1.83BCDEF | 20.77±1.53GHIJKL | 1.13±0.15EFGHIJ | 0.27±0.06AB |
| 30号 | 5.60±0.20ABCDEF | 2.25±0.15GHIJKL | 0.10±0.00ab | 70.00±1.90BCDEF | 20.65±1.85GHIJKL | 1.05±0.05EFGHIJ | 0.30±0.00A |
| 31号 | 5.80±0.10ABCDEF | 2.70±0.10CDEF | 0.10±0.00ab | 65.65±0.05HIJKLMN | 24.40±0.20ABCDEF | 1.10±0.10EFGHIJ | 0.30±0.00A |
| 32号 | 5.47±0.15CDEF | 2.40±0.10EFGHIJK | 0.07±0.06abc | 71.93±0.95ABCDEF | 18.93±1.10IJKLMN | 1.03±0.06EFGHIJ | 0.30±0.00A |
| 34号 | 5.60±0.00ABCDEF | 2.50±0.00EFGHIJK | 0.10±0.00ab | 69.80±0.20BCDEF | 20.65±0.15GHIJKL | 1.05±0.05EFGHIJ | 0.27±0.06AB |
| 35号 | 5.40±0.10CDEF | 2.50±0.10EFGHIJK | 0.10±0.00ab | 73.10±0.00ABCDE | 17.55±0.05JKLMN | 1.00±0.00FGHIJ | 0.30±0.00A |
| 36号 | 5.50±0.10BCDEF | 2.70±0.10CDEF | 0.10±0.00ab | 65.70±2.60HIJKLMN | 24.55±2.25ABCDEF | 1.20±0.10BCDEF | 0.30±0.00A |
| 42号 | 6.07±0.29ABC | 2.17±0.21HIJKL | 0.10±0.00ab | 65.13±2.78IJKLMN | 24.83±2.58ABCDEF | 1.43±0.06ABCDE | 0.20±0.00B |
| 45号 | 5.17±0.21GHI | 2.37±0.06EFGHIJK | 0.10±0.00ab | 70.90±1.65ABCDEF | 20.03±1.42HIJKLMN | 1.13±0.15EFGHIJ | 0.30±0.00A |
| 48号 | 5.53±0.70ABCDEF | 2.50±0.36EFGHIJK | 0.07±0.06abc | 68.57±6.56CDEF | 21.73±6.20EFGHIJK | 1.27±0.15BCDEF | 0.27±0.06AB |
| 51号 | 5.20±0.00GHI | 2.40±0.10EFGHIJK | 0.10±0.00ab | 76.30±0.70A | 14.75±0.55N | 0.90±0.10HIJ | 0.30±0.00A |
| 52号 | 5.97±0.42ABCDE | 2.57±0.29CDEF | 0.03±0.06bc | 68.20±1.31CDEF | 21.70±1.35EFGHIJK | 1.30±0.10BCDEF | 0.27±0.06AB |
| 64号 | 6.00±0.10ABCD | 2.30±0.10FGHIJKL | 0.10±0.00ab | 67.03±0.49FGHIJKL | 23.30±0.20ABCDEF | 1.40±0.05ABCDEF | 0.30±0.00A |
| 65号 | 5.20±0.20GHI | 2.50±0.10EFGHIJK | 0.10±0.00ab | 69.05±2.65CDEF | 21.60±2.70FGHIJKL | 1.25±0.05BCDEF | 0.27±0.06AB |
| 66号 | 4.73±0.38I | 2.80±0.00BCDE | 0.10±0.00ab | 73.97±0.76ABC | 17.17±0.35KLMN | 0.87±0.06IJ | 0.30±0.00A |
| 72号 | 5.37±0.06EFGHI | 2.80±0.40BCDE | 0.13±0.06a | 65.63±1.96HIJKLMN | 24.57±2.18ABCDEF | 1.17±0.06EFGHIJ | 0.30±0.00A |
| 80号 | 5.80±0.00ABCDEF | 2.15±0.05HIJKL | 0.00±0.00c | 72.05±0.65ABCDEF | 18.90±0.70IJKLMN | 0.85±0.05J | 0.30±0.00A |
| 99号 | 5.80±0.10ABCDEF | 2.15±0.25HIJKL | 0.03±0.06bc | 63.35±1.75KLMN | 27.05±1.85ABCDE | 1.30±0.10BCDEF | 0.30±0.00A |
| 马罕 | 5.70±0.20ABCDEF | 2.95±0.05BC | 0.10±0.00ab | 66.25±0.65GHIJKL | 23.40±0.30ABCDEF | 1.40±0.10ABCDEF | 0.27±0.06AB |
| 威士顿 | 5.63±0.15ABCDEF | 2.90±0.10BCD | 0.07±0.06abc | 66.55±0.95GHIJKL | 23.40±1.10ABCDEF | 1.20±0.00BCDEF | 0.23±0.06AB |
| 黄山1号 | 4.83±0.06HI | 2.80±0.20BCDE | 0.13±0.06a | 71.15±1.15ABCDEF | 19.80±0.80HIJKLMN | 1.00±0.00FGHIJ | 0.30±0.00A |
| 均值 | 5.56 | 2.46 | 0.09 | 68.60 | 21.81 | 1.19 | 0.28 |
| CV/% | 6.76 | 13.12 | 30.31 | 5.68 | 16.59 | 18.95 | 9.15 |
| MS | 0.42 | 0.31 | 0.002 | 45.47 | 39.26 | 0.15 | 0.002 |
| F值 | 6.07** | 10.71** | 1.60* | 8.56** | 9.04** | 6.25** | 1.88** |

注：大写字母和**表示 $p < 0.01$ ，小写字母表示 $p < 0.05$ ，差异有统计学意义；CV为变异系数，MS为均方。

表3 薄壳山核桃不同品种种仁油脂不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸相对质量分数变异分析

| 品种 | 单不饱和脂肪酸/ % | 多不饱和脂肪酸/ % | 不饱和脂肪酸/ % | 饱和脂肪酸/ % |
|-----|-----------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| 1号 | 71.53±2.28ABCDEFGH | 20.37±2.44HIJKLMNO | 91.90±0.17ABCDEF | 8.13±0.23BCDEFG |
| 3号 | 72.90±0.10ABCDEF | 17.20±0.15NO | 90.10±0.25G | 9.80±0.20A |
| 5号 | 65.93±2.04HIJKLMN | 25.70±2.17ABCDEFGH | 91.63±0.21BCDEF | 8.33±0.15BCDEF |
| 7号 | 68.87±1.10CDEFGHIJKL | 23.23±1.02CDEFGHIJKLM | 92.10±0.10ABCDEF | 7.90±0.10CDEFGH |
| 8号 | 74.00±5.53ABCD | 18.17±5.18MNO | 92.17±0.42ABCDE | 7.80±0.53DEFGH |
| 9号 | 73.05±2.35ABCDEF | 18.75±2.85KLMNO | 91.80±0.50BCDEF | 7.70±0.00FGH |
| 11号 | 62.77±0.95MN | 28.85±1.15ABC | 91.62±0.20BCDEF | 8.35±0.15BCDEF |
| 12号 | 71.17±2.37ABCDEFGH | 21.47±1.97FGHIJKLMN | 92.63±0.40A | 7.33±0.47H |
| 13号 | 67.53±2.25EFGHIJKLMN | 24.23±2.35BCDEFGHIJK | 91.77±0.21BCDEF | 8.27±0.25BCDEF |
| 14号 | 75.43±0.87AB | 17.20±0.89NO | 92.63±0.06A | 7.40±0.00GH |
| 16号 | 73.40±0.10ABCDE | 18.80±0.20KLMNO | 92.20±0.10ABCD | 7.90±0.20CDEFGH |
| 17号 | 67.40±1.10FGHIJKLMN | 24.90±1.10ABCDEFGH | 92.30±0.00AB | 7.72±0.03EFGH |
| 19号 | 66.10±0.20HIJKLMN | 25.75±0.25ABCDEFGH | 91.85±0.05ABCDEF | 8.10±0.00BCDEFGH |
| 20号 | 63.10±2.44LMN | 28.67±2.11ABCD | 91.77±0.47BCDEF | 8.20±0.44BCDEF |
| 21号 | 63.80±2.74KLMN | 28.10±2.71ABCDE | 91.90±0.20ABCDEF | 8.17±0.21BCDEFG |
| 22号 | 62.83±1.71MN | 29.27±1.40AB | 92.10±0.40ABCDEF | 7.83±0.50CDEFGH |
| 23号 | 61.60±2.48N | 30.13±2.16A | 91.73±0.35BCDEF | 8.17±0.42BCDEFG |
| 26号 | 68.15±2.95DEFGHIJKLM | 23.90±2.80BCDEFGHIJKL | 92.05±0.15ABCDEF | 7.95±0.15CDEFGH |
| 27号 | 73.77±2.44ABCD | 17.67±1.85MNO | 91.43±0.65DEF | 8.50±0.70BCDE |
| 28号 | 64.80±5.67JKLMN | 26.87±4.86ABCDEF | 91.67±0.84BCDEF | 8.30±0.87BCDEF |
| 29号 | 70.00±1.87BCDEFGHIJ | 21.90±1.67FGHIJKLMN | 91.90±0.30ABCDEF | 8.20±0.30BCDEF |
| 30号 | 70.30±1.90BCDEFGHIJ | 21.70±1.90FGHIJKLMN | 92.00±0.00ABCDEF | 7.95±0.05CDEFGH |
| 31号 | 65.95±0.05HIJKLMN | 25.50±0.30ABCDEFGH | 91.45±0.28DEF | 8.60±0.20BC |
| 32号 | 72.23±0.95ABCDEF | 19.97±1.15IJKLMNO | 92.20±0.20ABCD | 7.93±0.15CDEFGH |
| 34号 | 70.07±0.15BCDEFGHIJ | 21.70±0.10FGHIJKLMN | 91.77±0.06BCDEF | 8.20±0.00BCDEF |
| 35号 | 73.40±0.00ABCDE | 18.55±0.05LMNO | 91.95±0.05ABCDEF | 8.00±0.00BCDEFGH |
| 36号 | 66.00±2.60HIJKLMN | 25.75±2.35ABCDEFGH | 91.75±0.25BCDEF | 8.30±0.20BCDEF |
| 42号 | 65.33±2.78IJKLMN | 26.27±2.64ABCDEF | 91.60±0.20BCDEF | 8.33±0.31BCDEF |
| 45号 | 71.20±1.65ABCDEFGH | 21.17±1.55FGHIJKLMNO | 92.37±0.15AB | 7.63±0.15FGH |
| 48号 | 68.83±6.50CDEFGHIJKL | 23.00±6.32DEFGHIJKLM | 91.83±0.21BCDEF | 8.10±0.30BCDEFGH |
| 51号 | 76.60±0.70A | 15.65±0.65O | 92.25±0.05ABC | 7.70±0.10FGH |
| 52号 | 68.47±1.34CDEFGHIJKLM | 23.00±1.32DEFGHIJKLM | 91.47±0.06CDEF | 8.57±0.12BCD |
| 64号 | 67.33±0.49FGHIJKLMN | 24.70±0.25ABCDEFGH | 92.03±0.71ABCDEF | 8.40±0.10BCDEF |
| 65号 | 69.32±2.70CDEFGHIJK | 22.85±2.75EFGHIJKLMN | 92.17±0.06ABCDE | 7.80±0.10DEFGH |
| 66号 | 74.27±0.76ABC | 18.03±0.40MNO | 92.30±0.36AB | 7.63±0.38FGH |
| 72号 | 65.93±1.96HIJKLMN | 25.73±2.22ABCDEFGH | 91.67±0.45BCDEF | 8.30±0.46BCDEF |
| 80号 | 72.35±0.65ABCDEF | 19.75±0.65JKLMNO | 92.10±0.00ABCDEF | 7.95±0.05CDEFGH |

续表 3

| 品种 | 单不饱和脂肪酸/ % | 多不饱和脂肪酸/ % | 不饱和脂肪酸/ % | 饱和脂肪酸/ % |
|--------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|
| 99 号 | 63.65±1.75KLMN | 28.35±1.95ABCDE | 92.00±0.20ABCDEF | 7.98±0.20BCDEFGH |
| 马罕 | 66.52±0.70GHIJKLMN | 24.80±0.40ABCDEFGHIJ | 91.32±0.30F | 8.75±0.25B |
| 威士顿 | 66.78±0.95GHIJKLMN | 24.60±1.10ABCDEFGHIJ | 91.38±0.16EF | 8.60±0.10BC |
| 黄山 1 号 | 71.45±1.15ABCDEFGHIJ | 20.80±0.80GHIJKLMNO | 92.25±0.35ABC | 7.77±0.31EFGH |
| 均值 | 68.88 | 23.00 | 91.88 | 8.11 |
| CV/% | 5.67 | 16.59 | 0.46 | 5.22 |
| MS | 45.77 | 43.70 | 0.55 | 0.54 |
| F 值 | 8.63** | 9.05** | 6.04** | 6.12** |

注：大写字母和 ** 表示 $p < 0.01$ ，小写字母表示 $p < 0.05$ ，差异有统计学意义；CV 为变异系数，MS 为均方。

2.3 薄壳山核桃果实营养成分之间的相关分析

薄壳山核桃不同品种果实营养成分之间相关分析见表 4。

表 4 薄壳山核桃果实营养成分相关分析

| | 粗脂肪 | 蛋白质 | 可溶性糖 | 单宁 | 棕榈酸 | 硬脂酸 | 油酸 | 亚油酸 | 亚麻酸 | 花生酸 | 顺-11-二十碳烯酸 | 饱和脂肪酸总量 | 单不饱和脂肪酸总量 | 多不饱和脂肪酸总量 | 不饱和脂肪酸总量 | |
|------------|----------|---------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|------------|----------|-----------|-----------|----------|--|
| 粗脂肪 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 蛋白质 | -0.163 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 可溶性糖 | -0.210 | 0.080 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 单宁 | 0.191 | 0.336* | -0.171 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 棕榈酸 | -0.201 | -0.318* | 0.042 | -0.062 | 1 | | | | | | | | | | | |
| 硬脂酸 | 0.135 | -0.062 | -0.468** | 0.153 | -0.147 | 1 | | | | | | | | | | |
| 油酸 | 0.289 | 0.109 | -0.303 | 0.017 | -0.513** | 0.360* | 1 | | | | | | | | | |
| 亚油酸 | -0.273 | -0.064 | 0.322* | -0.009 | 0.464** | -0.424** | -0.994** | 1 | | | | | | | | |
| 亚麻酸 | -0.406** | 0.070 | 0.384* | -0.001 | 0.445** | -0.480** | -0.880** | 0.875** | 1 | | | | | | | |
| 花生酸 | -0.099 | 0.244 | -0.003 | 0.008 | -0.306 | 0.320* | 0.129 | -0.138 | -0.077 | 1 | | | | | | |
| 顺-11-二十碳烯酸 | 0.119 | 0.108 | -0.112 | -0.014 | -0.455** | 0.226 | 0.545** | -0.521** | -0.611** | 0.108 | 1 | | | | | |
| 饱和脂肪酸总量 | -0.102 | -0.308* | -0.248 | 0.038 | 0.786** | 0.494** | -0.231 | 0.148 | 0.100 | -0.027 | -0.262 | 1 | | | | |
| 单不饱和脂肪酸总量 | 0.289 | 0.109 | -0.303 | 0.017 | -0.514** | 0.361* | 1.000** | -0.994** | -0.881** | 0.129 | 0.549** | -0.232 | 1 | | | |
| 多不饱和脂肪酸总量 | -0.283 | -0.057 | 0.328* | -0.009 | 0.466** | -0.430** | -0.994** | 1.000** | 0.889** | -0.135 | -0.530** | 0.146 | -0.994** | 1 | | |
| 不饱和脂肪酸总量 | 0.119 | 0.492** | 0.160 | 0.079 | -0.535** | -0.550** | 0.260 | -0.157 | -0.114 | -0.026 | 0.286 | -0.813** | 0.261 | -0.156 | 1 | |

注：** 表示 $p < 0.01$ ，* 表示 $p < 0.05$ ，差异有统计学意义。

由表4可知,油酸相对质量分数与棕榈酸存在极显著负相关关系,相关系数为 $-0.513(p<0.01)$,与硬脂酸存在显著正相关关系,相关系数为 $0.360(p<0.05)$;亚油酸相对质量分数与棕榈酸存在极显著正相关关系,相关系数为 $0.464(p<0.01)$,与硬脂酸和油酸存在极显著负相关关系,相关系数分别为 $-0.424(p<0.01)$ 和 $-0.994(p<0.01)$;亚麻酸相对质量分数与棕榈酸和亚油酸存在极显著正相关关系,相关系数分别为 $0.445(p<0.01)$ 和 $0.875(p<0.01)$,与粗脂肪、硬脂酸和油酸存在极显著负相关关系,相关系数分别为 $-0.406(p<0.01)$, $-0.480(p<0.01)$ 和 $-0.880(p<0.01)$;花生酸相对质量分数与硬脂酸存在显著正相关关系,相关系数为 $0.320(p<0.05)$;顺-11-二十碳烯酸相对质量分数与油酸存在极显著正相关关系,相关系数为 $0.545(p<0.01)$,分别与棕榈酸、亚油酸和亚麻酸存在极显著负相关关系,相关系数分别为 $-0.455(p<0.01)$, $-0.521(p<0.01)$ 和 $-0.611(p<0.01)$;饱和脂肪酸相对质量分数与棕榈酸和硬脂酸存在极显著正相关关系,相关系数分别为 $0.786(p<0.01)$ 和 $0.494(p<0.01)$;单不饱和脂肪酸总量与油酸、顺-11-二十碳烯酸存在极显著正相关关系,相关系数分别为 $1.000(p<0.01)$ 和 $0.549(p<0.01)$,与硬脂酸存在显著正相关关系,相关系数为 $0.361(p<0.05)$,与亚油酸、棕榈酸存在极显著负相关关系,相关系数分别为 $-0.994(p<0.01)$ 和 $-0.514(p<0.01)$;多不饱和脂肪酸总量与亚油酸、亚麻酸和棕榈酸存在极显著正相关关系,相关系数分别为 $1.000(p<0.01)$, $0.889(p<0.01)$ 和 $0.466(p<0.01)$,与单不饱和脂肪酸、油酸、顺-11-二十碳烯酸和硬脂酸存在极显著负相关关系,相关系数分别为 $-0.994(p<0.01)$, $-0.994(p<0.01)$, $-0.530(p<0.01)$ 和 $-0.430(p<0.01)$;不饱和脂肪酸总量与饱和脂肪酸总量、棕榈酸和硬脂酸存在极显著负相关关系,相关系数分别为 $-0.813(p<0.01)$, $-0.535(p<0.01)$ 和 $-0.550(p<0.01)$ 。

3 讨论

通过对41个薄壳山核桃品种种仁内含物测定分析结果显示:薄壳山核桃种仁富含粗脂肪、蛋白质、可溶性糖和单宁等营养成分。果实或种仁中营养成分质量分数是影响食用品质的关键指标,经方差分析结果表明:薄壳山核桃种仁中,粗脂肪、蛋白质、可溶性糖和单宁质量分数等在参试品种间均表现出差异有统计学意义。以当前主要栽培品种马罕为对照,80号、51号、34号、26号、威士顿、28号、黄山1号、8号和36号等9个品种粗脂肪质量分数与马罕表现出差异有统计学意义,粗脂肪质量分数也远高于马罕(61.19%),可初步考虑作为油用型品种进行进一步选育,并逐步加以开发利用;蛋白具有一定的抗氧化性,并能有效防御心血管疾病、肥胖症、糖尿病等多种疾病^[14-15],以当前主要栽培品种马罕为对照,14号品种蛋白质质量分数与马罕表现出差异有统计学意义,较马罕蛋白质质量分数(75.23 mg/g)高出39.88%,64号和45号品种蛋白质质量分数虽与马罕无统计学意义,但其蛋白质质量分数仍远高于马罕,分别较马罕蛋白质质量分数高出24.86%和21.58%,因此可考虑将14号、64号和45号品种初选为高蛋白薄壳山核桃品种,并在此基础上继续加强薄壳山核桃高蛋白品种的选育和蛋白组成分析与综合评价,期为蛋白类产品开发利用研究提供支撑;果实的涩味主要来自于单宁类物质和其他多酚类化合物^[16],对竹笋苦涩味研究发现麻竹笋的苦涩味主要是高质量分数单宁和草酸相互作用的结果,绿竹笋因单宁等呈味物质质量分数低而口感滋味佳,毛竹笋辛辣味主要是单宁、氰化物、氰苷三者相互作用的结果^[17],涩柿和甜柿根本差异在于涩柿中可溶性单宁质量分数显著高于甜柿^[18],此外可溶性糖质量分数和糖酸比也会影响果实或种仁风味^[19-21],以当前主要栽培品种马罕为对照,1号、51号、12号、30号、22号、45号、7号、5号、20号、23号、19号和64号等12个薄壳山核桃品种可溶性糖质量分数高于对照及均值、种仁单宁质量分数低于对照及均值,可初选为鲜食型品种,后期在对种仁呈味氨基酸、矿质元素、果实性状和感官等进行综合评价的基础上,进一步复选并加以开发利用。

薄壳山核桃油脂主要由棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸、花生酸组成^[22-23], 与本研究结果基本一致, 参试品种各脂肪酸除花生酸表现出显著性差异外, 其他脂肪酸均表现出极显著性差异, 显示有统计学意义. 就油脂组成对人体健康而言, 不饱和脂肪酸质量分数高的油脂被认为对人体有益, 世界公认的优质植物油多是不饱和脂肪酸(尤其是油酸)质量分数高的油, 如橄榄油和油茶籽油. 薄壳山核桃油脂组成中主要以不饱和脂肪酸为主, 不饱和脂肪酸总质量分数介于 90.10%~92.63%之间, 均值为 91.88%, 不饱和脂肪酸由单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸组成, 单不饱和脂肪酸对心脑血管疾病有很强的预防作用, 多不饱和脂肪酸维持和促进机体正常生长发育、在防治冠心病、糖尿病等疾病中起着重要作用^[9], 41 个薄壳山核桃参试品种中, 除 3 号品种不饱和脂肪酸总质量分数小于当前主要栽培品种马罕外, 其他品种不饱和脂肪酸总质量分数均高于马罕, 其中 12 号、14 号、45 号、17 号、66 号、51 号、黄山 1 号、16 号、32 号、8 号和 65 号等 11 个品种不饱和脂肪酸总质量分数与马罕表现出极显著性差异.

对核桃油脂^[24]研究表明, 核桃油脂品质受油脂中脂肪酸相对质量分数高低和种类影响, 其中油酸质量分数越高, 油脂碘价越低, 越不易氧化变质; 亚油酸、亚麻酸质量分数越高, 碘价越高, 油脂越不稳定, 越易氧化变质. 参试的 41 个品种脂肪酸组成中, 51 号、14 号、66 号、8 号、27 号、35 号、16 号、9 号、3 号、80 号、32 号、1 号、黄山 1 号、45 号和 12 号等 15 个品种油酸相对质量分数超过 70%, 其中 51 号、14 号、66 号、8 号、27 号、35 号、16 号、9 号和 3 号等 9 个品种油酸相对质量分数与当前主要栽培品种马罕油酸相对质量分数表现出极显著差异, 介于 72.60%~76.30%之间, 与茶油(74%~87%)接近, 比部分橄榄油(65%~85%)^[25]要高. 薄壳山核桃油脂脂肪酸组成成分及质量分数与当前国际公认的高档植物油相当, 也属健康高级食用油脂, 因而, 薄壳山核桃可作为优质食用植物油资源予以开发. 以马罕为对照, 根据对参试的 41 个薄壳山核桃油脂脂肪酸组成比例进行分析, 我们初步认为 51 号、66 号、8 号和 16 号等 4 个品种油酸和总不饱和脂肪酸相对质量分数较高, 这些品种在油用资源开发上有极高的利用前景, 是进一步进行高档食用油品种改良的好资源.

薄壳山核桃不同品种果实营养成分之间相关分析结果表明: 饱和脂肪酸总量与棕榈酸和硬脂酸存在极显著正相关关系; 不饱和脂肪酸总量与饱和脂肪酸总量、棕榈酸和硬脂酸存在极显著负相关关系. 单不饱和脂肪酸主要由油酸组成, 其相对质量分数与油酸、顺-11-二十碳烯酸存在极显著正相关关系; 多不饱和脂肪酸主要以亚油酸为主, 多不饱和脂肪酸相对质量分数与亚油酸、亚麻酸和棕榈酸存在极显著正相关关系, 与单不饱和脂肪酸、油酸、顺-11-二十碳烯酸和硬脂酸存在极显著负相关关系. 油酸相对质量分数与棕榈酸存在极显著负相关关系, 这也与常君等^[26]对薄壳山核桃油脂积累过程中, 棕榈酸逐渐转化为油酸的研究结果一致.

4 结 论

以当前主要栽培品种马罕为对照, 通过对 41 个薄壳山核桃品种果实营养成分与脂肪酸组成的对比分析, 初选出 80 号、51 号、34 号、26 号、威士顿、28 号、黄山 1 号、8 号和 36 号等 9 个品种作为油用型品种, 在进一步复选的基础上逐步加以开发利用; 将 14 号、64 号和 45 号品种初选为高蛋白薄壳山核桃品种, 在进一步综合评价的基础上, 为蛋白类产品开发利用研究提供支撑; 1 号、51 号、12 号、30 号、22 号、45 号、7 号、5 号、20 号、23 号、19 号和 64 号等 12 个品种初选为鲜食型品种, 后期在对种仁氨基酸组成、矿质元素、果实性状和感官等综合评价的基础上, 进一步复选并加以开发利用; 51 号、66 号、8 号和 16 号等 4 个品种在油用资源开发上有极高的利用前景, 是进一步进行高档食用油品种改良的好资源.

参考文献:

- [1] 刘雨,常君,任华东,等.薄壳山核桃雌花发育的解剖学研究[J].西南大学学报(自然科学版),2018,40(6):32-37.
- [2] 常君,任华东,刘雨,等.薄壳山核桃雄花花芽分化的解剖学研究[J].西南大学学报(自然科学版),2019,41(2):33-38.
- [3] 李川,姚小华,王开良,等.薄壳山核桃无性系果实性状指标简化研究[J].江西农业大学学报,2011,33(4):696-700.
- [4] HAN M, PENG F, MARSHALL P. Pecan Phenology in Southeastern China [J]. Annals of Applied Biology, 2018, 172(2): 160-169.
- [5] FABRIZIO G C, VAN DER WATT ELMARIE, GESINE M C. Propagation of Pecan (*Carya illinoensis*): a Review [J]. African Journal of Biotechnology, 2018, 17(18): 586-605.
- [6] 张普娟,鲍瑾,刘鹏,等.近年我国长山核桃审(认)定情况进展[J].江苏农业科学,2016,44(8):216-219.
- [7] 李川,姚小华,王开良,等.12个薄壳山核桃无性系果核性状以及产量的比较[J].西南大学学报(自然科学版),2011,33(6):40-44.
- [8] 陈芬,姚小华,王开良,等.33个薄壳山核桃无性系果(核)性状以及产量的比较[J].中南林业科技大学学报,2016,36(1):40-45.
- [9] 张汇慧,吴彩娥,李永荣,等.不同品种薄壳山核桃营养成分比较[J].南京林业大学学报(自然科学版),2014,38(3):55-58.
- [10] 俞春莲,王正加,夏国华,等.10个不同品种的薄壳山核桃脂肪含量及脂肪酸组成分析[J].浙江农林大学学报,2013,30(5):714-718.
- [11] 陈文静,刘翔如,邓秋菊,等.薄壳山核桃果实发育及脂肪酸累积变化规律[J].经济林研究,2016,34(2):50-55.
- [12] 常君,李川,姚小华,等.薄壳山核桃无性系含油率及脂肪酸组成分析[J].西南师范大学学报(自然科学版),2017,42(8):51-57.
- [13] 陈芬,姚小华,滕建华,等.薄壳山核桃无性系果实经济性状与品质比较[J].中国粮油学报,2016,31(8):68-74.
- [14] 韩海涛,宴正明,张润光,等.核桃蛋白组分的营养价值、功能特性及抗氧化性研究[J].中国油脂,2019,44(4):29-34.
- [15] 李述刚,陆健康,王萍,等.新疆南疆扁桃仁中蛋白质与脂类营养分析[J].中国油脂,2015,40(2):30-32.
- [16] 罗晓文,刘敏,齐晓花,等.果实涩味分子研究进展[J].分子植物育种,2013,11(5):647-656.
- [17] 崔逢欣,丁兴萃,李露双,等.毛竹笋呈味物质种类、含量与辛辣味强度的关系[J].林业科学研究,2017,30(6):1041-1049.
- [18] 张宝善,伍晓红,陈锦屏.柿单宁研究进展[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2008,36(1):99-105.
- [19] 陈雷,孙冰,汪贵斌,等.银杏果用林复合经营模式下种仁品质综合评价[J].林业科学,2016,52(11):63-70.
- [20] 郑丽静,聂继云,李明强,等.苹果风味评价指标的筛选研究[J].中国农业科学,2015,48(14):2796-2805.
- [21] 吴紫洁,阮成江,李贺,等.12个沙棘品种的果实可溶性糖和有机酸组分研究[J].西北林学院学报,2016,31(4):106-112.
- [22] 张鹏,钟海雁,姚小华,等.四种山核桃种仁含油率及脂肪酸组成比较分析[J].江西农业大学学报,2012,34(3):0499-0504.
- [23] PEREIRA J A, OLIVEIRA I, SOUSA A, et al. Bioactive Properties and Chemical Composition of Six Walnut (*Juglans Regia* L.) Cultivars [J]. Food and Chemical Toxicology, 2008, 46(6): 2103-2111.
- [24] 赵书岗,赵悦平,王红霞,等.核桃油脂理化特性与脂肪酸成分的研究[J].中国粮油学报,2008,23(2):85-88.
- [25] 国家林业局油茶产业发展办公室,国家林业局科技司,国家油茶科学中心.茶油营养与健康[M].杭州:浙江科学技术出版社,2010.
- [26] 常君,任华东,姚小华,等.薄壳山核桃'Mahan'品种果实动态发育分析及营养物质积累规律研究[J].经济林研究,2019,37(3):90-94,127.

A Comparative Analysis of Nutritional Components and Fatty Acid Composition of 41 Pecan Varieties

CHANG Jun¹, REN Hua-dong¹, YAO Xiao-hua¹, YANG Shui-ping²,
ZHANG Xiao-dan², ZHANG Cheng-cai¹, WANG Kai-liang¹

1. Key Laboratory of Tree Subtropical Breeding and Cultivation of National Forestry and Grassland Administration, Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Huyang Zhejiang 311400, China;
2. School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China

Abstract: The nutrient components, fatty acid composition of crude fat, protein, soluble sugar and tannin of 41 pecan (*Carya illinoensis*) varieties were sampled at the fruit ripening stage, and the nutrient composition and fatty acid composition and their correlation were compared and analyzed so as to provide a theoretical basis for the breeding of multi-target pecan. The results showed that there were some variations in the crude fat, protein, soluble sugar and tannin content of the kernel. The variation of the content of tannin was the highest among the accessions, followed by that of soluble sugars and protein. Crude fat content had the least inter-varietal difference. Variance analysis showed that the differences between pecan varieties tested in crude fat, protein, soluble sugar and tannin content were highly significant statistically. Pecan kernel oil consisted mainly of palmitic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, arachidic acid and cis-11-eicosenoic acid. Considerable variation was detected among the tested accessions. The results of analysis of variance indicated that the mass fraction of different fatty acids showed significant or highly significant inter-varietal differences; the total relative mass fraction of saturated fatty acids was in significant or highly significant positive correlation with that of palmitic acid and stearic acid, the relative mass fraction of total unsaturated fatty acids was in a highly significant negative correlation with that of total saturated fatty acids, palmitic acid and stearic acid; and there was a highly significant negative correlation between oleic acid and palmitic acid in their relative mass fraction. In Conclusion, with the current widely-cultivated cultivar Mahan as a control, based on the comparative analysis of the nutrient components and fatty acid composition of 41 pecan varieties, Accession No. 80 and other 8 accessions were selected as oil-type varieties and recommended for development and utilization on the basis of further re-selection; Accessions No. 14, No. 64 and No. 45 were selected as high-protein husk varieties; Accession No. 1 and other 11 varieties were tentatively selected as fresh-type cultivars and on the basis of comprehensive evaluation, in the future, of the amino acid composition, mineral elements, fruit traits and sensory of the seed, were recommended for further re-election and development and utilization; Accession No. 51 and other 3 varieties were identified as good resources for further improvement of high-grade edible oil varieties.

Key words: pecan (*Carya illinoensis*); nutrient composition; fatty acid; correlation