



周文君,李俊,刘祥,等.湖南省30个薄壳山核桃新品种经济性状比较分析[J].江西农业大学学报,2021,43(4):807-816.
ZHOU W J,LI J,LIU X,et al.A comparative analysis of the economic characters of 30 pecan varieties in Hunan Province[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2021,43(4):807-816.

湖南省30个薄壳山核桃新品种 经济性状比较分析

周文君,李俊,刘祥,曾淑珍,邹锋,袁军*

(中南林业科技大学 林学院/经济林育种与栽培国家林业局重点实验室/经济林培育与保护省部共建教育部重点实验室,湖南长沙 410004)

摘要:【目的】以引种到湖南的30个不同薄壳山核桃(*Carya illinoensis*)新品种为材料,筛选出适宜在湖南省发展的优良薄壳山核桃品种,为湖南省薄壳山核桃产业发展提供良种基础。【方法】选择树龄为9~10年的薄壳山核桃,测定其产量、种子横径、种子纵径、果形指数、种壳厚度、种子百粒质量、出仁率和种仁出油率等8个指标,用气相色谱法分析不同品种油脂的脂肪酸组成,最后采用主成分分析法进行综合评价。【结果】30个薄壳山核桃品种单株产量、种子形态、种仁出油率和脂肪酸组成等方面存在显著差异。30个薄壳山核桃品种测产表明,其单株产量在6~25 kg/株,单株产量达20 kg/株的品种有‘Wichita’‘Choctaw’‘Pawnee’‘Western’。薄壳山核桃品种中百粒质量最大的是‘Imperial’,与百粒质量最小的品种相差562.65 g。30个薄壳山核桃品种的种壳厚度在0.70~1.29 mm,平均值为1.02 mm,都容易取仁。测定分析不同品种种子横径、纵径和果形指数,发现‘Tejas’和‘Mahan’的种子纵径和横径最大,‘Apache’‘Elliot’‘Native’‘Brake’的种子纵径和横径都普遍小于其他品种。‘Sioux’‘Demas’‘Shawnee’‘Grapark’‘Mahan’的果形为狭长形,‘Elliot’为近圆形,其余品种都为椭圆形。薄壳山核桃种子出仁率在41.41%~65.15%,出仁率最高的品种为‘Pawnee’。‘Kanza’‘Shawnee’‘Chichasaw’‘黄山1号’的出仁率较低。30个品种的种仁含油率在54.36%~67.38%,其中‘Wichita’‘Imperial’‘Pawnee’‘金华’种仁含油率超过65%。测定30个薄壳山核桃品种油脂脂肪酸组成,发现薄壳山核桃油脂脂肪酸中油酸的含量最高,其次是亚油酸、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸和花生酸。薄壳山核桃油中不饱和脂肪酸含量为80.16%~90.24%,其中单不饱和脂肪酸(油酸)占的比重最大,相对含量在60.09%~76.42%。对不同品种的14个经济性状指标进行主成分分析和综合评价,发现综合评分最高的为薄壳山核桃‘Pawnee’‘Imperial’‘金华’‘Choctaw’。【结论】薄壳山核桃‘Pawnee’‘Imperial’‘金华’‘Choctaw’既适合做坚果食用,又适合提取油脂,早实性好,适合在湖南进行推广应用。‘Apache’‘Elliot’‘Native’虽然目前产量较低,但均能正常生长结实,可以继续观测产量、花粉量和抗病性等相关指标,以备作为授粉品种、砧木或者研究材料使用。

关键词:薄壳山核桃;经济性状;含油率;脂肪酸

中图分类号:S664.1 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2021)04-0807-10

A Comparative Analysis of the Economic Characters of 30 Pecan Varieties in Hunan Province

ZHOU Wenjun, LI Jun, LIU Xiang, ZENG Shuzhen, ZOU Feng, YUAN Jun*

收稿日期:2021-02-03 修回日期:2021-05-10

基金项目:湖南省重点研发计划项目(2018WK2041)

Project supported by the Hunan Province's Key Research and Development Plan(2018WK2041)

作者简介:周文君, orcid.org/0000-0001-9529-2365, a15084919516@163.com, *通信作者:袁军,副教授,博士,主要从事经济林栽培生理与土壤肥料科学研究, orcid.org/0000-0003-2925-3661, yuanjun@csuft.edu.cn。

(Key Laboratory of Cultivation and Protection for Non-Wood Forest Trees, Ministry of Education, The Key Laboratory of Non-wood Forest Products of State Forestry Administration, Forest College, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: [Objective] To select excellent varieties of *C. illinoensis* which are suitable for cultivation in Hunan Province, 30 new *Carya illinoensis* varieties already planted in Hunan Province, were evaluated according to comprehensive assessment. [Method] Eight indexes, including yield, seed transverse diameter, seed longitudinal diameter, fruit shape index, seed shell thickness, 100-seed weight, kernel yield and kernel oil yield of *C. illinoensis* trees aged 9–10 years were determined. The fatty acid compositions of different varieties of oils were analyzed by gas chromatography, and finally the comprehensive evaluation was made by principal component analysis. [Result] There were significant differences in yield, seed morphology, kernel oil yield and fatty acid composition per plant among the 30 *C. illinoensis* varieties. The yield per plant was 6–25 kg/plant, and the yield per plant of ‘Wichita’, ‘Choctaw’, ‘Pawnee’ and ‘Western’ reached 20 kg/plant. ‘Imperial’ has the largest 100-grain weight, which was 562.65 g heavier than that of the cultivar with the smallest 100-grain weight. The shell thickness of 30 *C. illinoensis* varieties ranged from 0.70 mm to 1.29 mm, with an average value of 1.02 mm, all of which were easy to take kernels. The longitudinal diameter and transverse diameter of seeds of ‘Tejas’ and ‘Mahan’ were the largest, while those of ‘Apache’, ‘Elliot’, ‘Native’ and ‘Brake’ were generally smaller than those of others. The fruit shapes of ‘Sioux’, ‘Demas’, ‘Shawnee’, ‘Grapark’ and ‘Mahan’ were long-narrow, that of ‘Elliot’ was nearly round, and those of others were oval. The kernel yield of *C. illinoensis* ranged from 41.41% to 65.15%, with the highest being ‘Pawnee’, while the kernel yield of ‘Kanza’, ‘Shawnee’, ‘Chichasaw’ and ‘Huangshan No.1’ were lower than those of others. The oil yield of 30 varieties ranged from 54.36% to 67.38%, among which the oil yields of ‘Wichita’, ‘Imperial’, ‘Pawnee’ and ‘Jinhua’ exceeded 65%. Oleic acid was the highest fatty acid, followed by linoleic acid, palmitic acid, stearic acid, linolenic acid and arachidic acid. The content of unsaturated fatty acids in *C. illinoensis* oil was 80.16%–90.24%, among which monounsaturated fatty acids (oleic acid) accounted for the largest proportion, and the relative content was 60.09%–76.42%. According to principal component analysis and comprehensive evaluation of 14 economic characters of different varieties, it was found that *C. illinoensis* ‘Pawnee’, ‘Imperial’, ‘Jinhua’ and ‘Choctaw’ had the highest comprehensive scores. [Conclusion] *C. illinoensis* ‘Pawnee’, ‘Imperial’, ‘Jinhua’ and ‘Choctaw’ are not only suitable for making edible nuts, but also for extracting oil and fat, with early fruiting property, which is suitable for popularization and application in Hunan Province. Although the yields of ‘Apache’, ‘Elliot’ and ‘Native’ are low at present, they can all grow and bear fruit normally, and their related indexes such as yield, pollen quantity and disease resistance need to be observed, they can be used as pollinators, rootstocks or research materials.

Keywords: *Carya illinoensis*; economic characteristics; oil content; fatty acid

【研究意义】薄壳山核桃(*Carya illinoensis*)又名美国山核桃、长山核桃、碧根果,果实营养丰富,口感松脆,是一种世界性坚果^[1],种仁多不饱和脂肪酸含量较高,具有降低胆固醇等保健作用^[2]。薄壳山核桃树形高大,枝繁叶茂,可作为行道树和庭院观赏树,在山区经济发展、精准扶贫和美丽乡村建设中具有重要作用。薄壳山核桃种植历史悠久,市场需求越来越大,未加工的坚果售价可达50元/kg。【前人研究进展】薄壳山核桃的原产地在密西西比河流域,17~18世纪逐渐被美国殖民者作为商业项目推广并扩大,诞生了最早的薄壳核桃产业^[3]。我国引进薄壳山核桃最早从江苏省开始^[4],直到1926年湖南省开始了第一次美国山核桃的引种工作,之后陆续有中南林学院、湖南省林业科学院于20世纪30年代至80年代进行了间断性的引种工作,均能够正常的生长与结实^[5],大树通过高接换冠技术1~2年后

开始结果,盛果期是在结果10年后进入,结果盛期长达50~70年^[6]。目前我国薄壳山核桃种植区域主要是位于北纬24°~40°的浙江省、江苏省和云南省等22个省份,不同的学者对不同地区的薄壳山核桃生长特性、果实经济性状都进行了相关的研究,例如许梦洋等^[7]、杨康^[8]和黄玉华^[9]分别对引种到江苏、重庆和浙江等省份的薄壳山核桃品种的果实发育特征以及当地的生态适应性方面做了相关研究。发现不同薄壳山核桃品种油脂中脂肪酸组成一致,其含量顺序由大到小依次为油酸、亚油酸、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸和花生酸^[10],但不同地区不同品种的薄壳山核桃油脂脂肪酸含量存在显著差异^[11-12]。基于薄壳山核桃的生长特性、果实经济性状以及脂肪酸组成等指标,不同省份筛选出了适宜当地的主栽品种,取得了很好的成效。【本研究切入点】湖南省是引种薄壳山核桃的最早省份之一^[13],其气候条件和地理环境都适宜薄壳山核桃的种植和推广。然而目前产业并没有发展壮大,主要原因包括管理经营措施不规范,未筛选出适宜的品种等。随着我国其他省份大面积种植和多年的发展以及科研成果的应用转化,改善经营管理措施相对容易。所以,筛选出适宜湖南地区丘陵山地的薄壳山核桃品种是亟需开展的工作。【拟解决的关键问题】为此,本研究以引种到湖南种植的30个薄壳山核桃品种为研究对象,测定其产量、种子经济性状、脂肪酸组成等指标,并进行综合性状评价,以期筛选出适宜湖南发展的优良品种,为产业发展提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料来源于湖南省洞口县、靖州县等薄壳山核桃基地,采样地位坐标为26°57'17"N,110°57'20"E,土壤类型为红壤,海拔67~90 m,年均温16.6℃,无霜期281~293 d,测试树龄9~10年,采样时每个品种挑选5株中等树进行调查和采样。2019年11月果实成熟后,把测试树的果实全部采收,除去青皮测定单株产量,把每个品种的种子分别混合阴干后,随机抽取百粒种子测百粒质量,随机抽取10颗种子作为样品测定其它经济性状。

1.2 性状测定

1.2.1 表型性状测定 用游标卡尺测种子纵径、横径和果壳厚度,并计算果形指数,用精度到1%的分析天平测单果质量和果仁质量,并计算出仁率。

$$\text{果形指数} = \text{纵径} / \text{横径} \quad (1)$$

$$\text{出仁率} = \text{果仁质量} / \text{种子质量} \times 100\% \quad (2)$$

1.2.2 种仁含油率和脂肪酸组分测定 利用索氏抽提器测定种仁含油率^[14]。把提取出来的薄壳山核桃油分别装在离心管中,放4℃冰箱保存。随后测定美国山核桃的脂肪酸组成,先将提取出的薄壳山核桃油样甲酯化,然后利用气相色谱分析仪测定脂肪酸组成和相对含量,参考《食品中脂肪酸测定国家标准》,采用其中的内标法对提取出来的薄壳山核桃油样进行脂肪酸组分测定。根据保留时间确定脂肪酸组成,根据峰面积以归一化方法计算各脂肪酸的相对含量^[15]。

1.3 统计分析

表型性状分析均为5次重复,油脂分析均为3次重复,数据统计和柱状图采用Excel 2016进行;方差分析和主成分分析采用SPSS22.0数据处理系统分析。

2 结果与分析

2.1 单株产量

测定不同品种薄壳山核桃的单株产量,表明不同品种的产量存在显著差异(图1),30个薄壳山核桃品种的产量在6~25 kg/株。调查结果表明,产量较高的品种是‘Wichita’‘Choctaw’‘Pawnee’‘Western’,这4个品种的单株产量都高达20 kg/株或以上,显著高于其它品种。产量最低的品种是‘Native’,年产量只有6 kg/株。另外‘Mohawk’‘Tejas’‘Grapark’这3个品种的产量也很低,可能是结实期较晚的原因,但不排除大小年现象的影响。

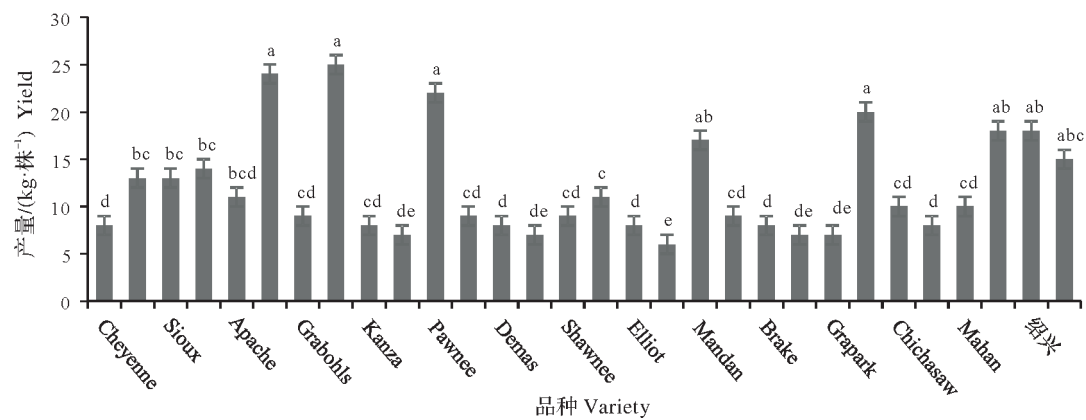


图1 薄壳山核桃不同品种单株产量对比

Fig.1 Yield comparison of different *Carya illinoensis* varieties

表 1 不同薄壳山核桃表型性状

Tab.1 Phenotypic characters of different *Carya illinoensis* varieties

品种 Variety	横径/mm Transverse diameter	纵径/mm Longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index	种壳厚度/mm Shell thickness	百粒质量/g Single fruit weigh
Cheyenne	22.16±0.43 ^{bc}	40.13±0.97 ^{ab}	1.81±0.05 ^{cd}	1.26±0.08 ^a	778.66±14 ^a
Navaho	21.00±0.48 ^{cd}	38.81±3.13 ^{ef}	1.85±0.04 ^{bcd}	1.29±0.12 ^a	608.74±5 ^{def}
Sioux	20.25±0.46 ^{de}	46.58±1.83 ^b	2.31±0.09 ^a	1.17±0.07 ^{ab}	695.70±8 ^{def}
Imperial	24.29±0.46 ^a	42.52±1.19 ^{cd}	1.76±0.06 ^a	1.26±0.04 ^a	1001.85±12 ^a
Apache	21.23±0.37 ^{cd}	31.36±3.40 ^{fg}	1.48±0.04 ^{bc}	0.94±0.08 ^{cd}	546.06±18 ^{fg}
Choctaw	23.69±0.26 ^{ab}	45.28±2.03 ^{bc}	1.91±0.03 ^{bc}	0.89±0.01 ^{cde}	870.98±33 ^{bc}
Grabohls	21.33±0.48 ^{bcd}	41.02±1.09 ^{cde}	1.93±0.04 ^{bc}	1.10±0.09 ^{abc}	791.05±89 ^{bcd}
Wichita	21.63±0.28 ^{acd}	38.93±2.62 ^{cd}	1.80±0.07 ^{cd}	0.97±0.04 ^{bcd}	839.08±23 ^{bcd}
Kanza	20.67±0.19 ^{bcd}	42.40±0.54 ^{cd}	2.05±0.03 ^{abc}	1.14±0.06 ^{ab}	798.84±67 ^{bcd}
Mohawk	22.16±0.25 ^{bc}	36.04±0.37 ^{ef}	1.63±0.03 ^{def}	1.13±0.06 ^{ab}	828.94±35 ^{bcd}
Pawnee	24.34±0.30 ^a	40.38±2.41 ^{de}	1.66±0.04 ^{de}	0.99±0.03 ^{bcd}	832.34±22 ^{bcd}
Melrose	23.37±0.63 ^{ab}	46.50±0.98 ^b	1.99±0.03 ^{abc}	0.81±0.04 ^{de}	965.21±77 ^{ab}
Demas	18.94±0.39 ^{ef}	41.81±0.87 ^{cde}	2.21±0.05 ^a	0.70±0.06 ^{ef}	566.75±43 ^d
Odom	23.67±0.34 ^{ab}	37.57±1.71 ^{ef}	1.59±0.05 ^{def}	1.25±0.06 ^a	775.60±19 ^{cde}
Shawnee	20.10±0.39 ^d	43.92±3.06 ^{bcd}	2.19±0.05 ^{ab}	0.75±0.02 ^{def}	734.20±12 ^{de}
Apalachee	19.81±0.48 ^e	38.94±1.50 ^{ef}	1.97±0.05 ^{abc}	0.85±0.07 ^{de}	564.82±68 ^{efg}
Elliot	21.70±0.42 ^{bcd}	31.11±1.58 ^{gh}	1.43±0.02 ^{efg}	0.93±0.03 ^{cd}	493.38±11 ^{fgh}
Native	21.12±0.20 ^{cd}	32.24±0.60 ^{gh}	1.53±0.03 ^{ef}	0.98±0 ^{bcd}	543.36±32 ^{fg}
Mandan	21.86±0.53 ^{bcd}	42.05±3.32 ^{cd}	1.93±0.05 ^{bc}	0.81±0.03 ^{ef}	616.16±59 ^{def}
Cherokee	22.14±0.74 ^c	43.11±1.97 ^{bcd}	1.95±0.03 ^{bc}	0.95±0.07 ^{cd}	860.08±21 ^{bc}
Brake	21.22±0.44 ^{bcd}	34.88±2.65 ^{efg}	1.65±0.08 ^{de}	1.04±0.02 ^{abc}	564.30±82 ^{efg}
Tejas	24.34±0.40 ^a	43.73±1.58 ^{bcd}	1.80±0.02 ^{cd}	0.88±0.02 ^{cde}	622.16±3 ^{def}
Grapark	20.21±0.49 ^{cde}	43.13±1.92 ^{bcd}	2.14±0.06 ^{ab}	1.15±0.02 ^{ab}	946.90±50 ^a
Western	23.79±0.38 ^{ab}	39.92±1.92 ^{def}	1.68±0.04 ^{de}	0.86±0.01 ^{de}	835.40±44 ^{bcd}
Chichasaw	20.06±0.35 ^{cde}	30.43±2.69 ^{gh}	1.52±0.04 ^{ef}	0.93±0.03 ^{cd}	439.20±25 ^{fgh}
亚林 29 号	24.14±0.22 ^a	44.38±1.94 ^{bc}	1.84±0.05 ^{bcd}	0.82±0.02 ^{def}	969.88±67 ^{ab}
Mahan	24.28±0.48 ^a	56.41±2.41 ^a	2.33±0.05 ^a	0.92±0.04 ^{cd}	950.82±88 ^{ab}
金华	20.97±0.13 ^{de}	38.83±1.81 ^{ef}	1.85±0.08 ^{bcd}	1.07±0.06 ^{abc}	747.23±39 ^{cde}
绍兴	22.08±0.14 ^{bc}	30.81±1.02 ^{fgh}	1.39±0.04 ^{cd}	0.95±0.04 ^{cd}	886.23±66 ^{abc}
黄山 1 号	20.72±0.24 ^{de}	34.78±0.63 ^d	1.68±0.04 ^{de}	1.17±0.08 ^{ab}	579.98±30 ^d

2.2 表型性状

分别测定30个薄壳山核桃果实百粒质量、果仁质量、出仁率和种壳厚度等指标,发现不同品种之间的经济性状存在统计学差异。由表1中可以看出,百粒质量最大的品种‘Imperial’为1 001.85 g,与百粒质量最小的品种‘Chichasaw’相差562.65 g,种壳厚度在0.70~1.29 mm,‘Navaho’的种壳最厚,‘Demas’的种壳最薄,各品种种壳厚度平均值是1.02 mm。分别测定30个薄壳山核桃品种的种子横径、纵径,并计算果形指数发现,30个薄壳山核桃品种的纵径和横径分别以‘Tejas’‘Mahan’的最大,‘Apache’‘Elliot’‘Native’‘Brake’的纵径和横径都普遍小于其它品种。分析表明,果形指数越小,果形越圆,果形指数越大,果形越长。由表中的果形指数可以看出,‘Sioux’‘Demas’‘Shawnee’‘Grapark’‘Mahan’的果形为狭长形,‘Elliot’为近圆形,其余品种的果形指数在二者之间,果形均是椭圆形。

2.3 出仁率和出油率

2.3.1 出仁率 由图2可知,不同品种的薄壳山核桃种子出仁率在41.41%~65.15%,平均出仁率53.95%,变异系数(CV)为12.01%,整体波动较大。出仁率最高的品种为‘Pawnee’,出仁率最低的品种是‘Kanza’,相差23.74%。

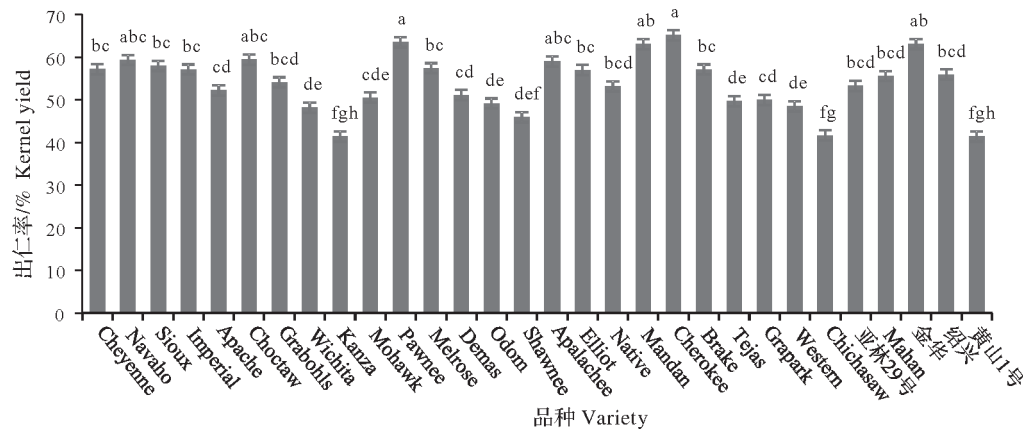


图2 薄壳山核桃不同品种出仁率

Fig.2 Kernel rate of different *Carya illinoensis* varieties

2.3.2 出油率 由图3可知,不同品种的薄壳山核桃含油率在54.36%~67.38%。平均出油率为60.59%,变异系数(CV)为7.11%,整体比较稳定。其中‘Pawnee’‘Imperial’‘Wichita’‘金华’‘Native’的含油率显著高于其它品种,都超过了65%。‘Apache’‘Sioux’‘黄山1号’含油率显著低于其他品种,都不到55%。

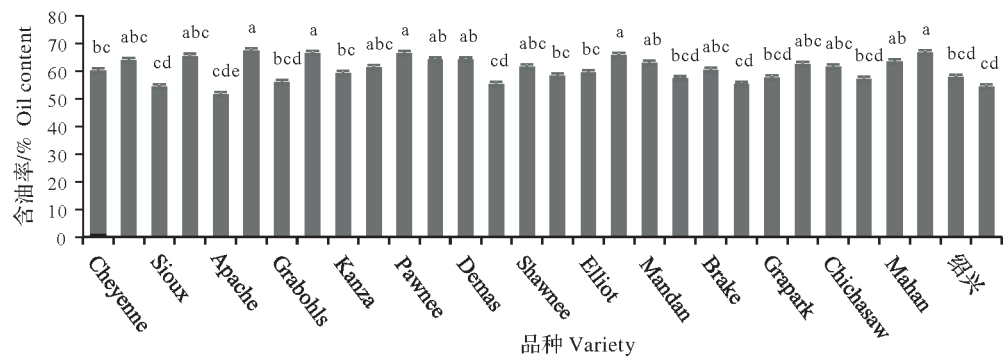


图3 不同薄壳山核桃品种含油率

Fig.3 Oil content of different *Carya illinoensis* varieties

2.4 脂肪酸组成

测定不同山核桃品种油脂的脂肪酸组成,发现其脂肪酸组成基本一致,相对含量由大到小依次为油

酸、亚油酸、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸和花生酸(表2)。这6种脂肪酸占总量99%以上,另外还有及其少量的花生烯酸,但其含量很少不予统计。油酸、亚油酸、亚麻酸属于不饱和脂肪酸,总量达到80.16%~90.24%,其中油酸为最主要的不饱和酸,品种‘Wichita’‘Mahan’‘Pawnee’的油酸含量都达到了70%以上,所有品种的平均油酸含量为65.84%。亚油酸的含量相对稳定,在14.21%~24.23%。饱和脂肪酸含量在8.24%~18.78%,饱和脂肪酸含量最高的品种比最低的品种高10.54%,差异显著。

表2 不同品种薄壳山核桃脂肪酸组成

Tab.2 Fatty acid composition of different *Carya illinoensis* varieties

品种 Variety	油酸/% Oleic acid	亚油酸/% Linoleic acid	亚麻酸/% Linolenic acid	不饱和脂肪酸 总量/% Total unsaturated fatty acid	硬脂酸/% Stearic acid	花生酸/% Arachidic acid	棕榈酸/% Palmitic acid	饱和脂肪酸 总量/% Total saturated fatty acid
Cheyenne	68.43	20.23	0.50	89.16	3.04	0.12	6.45	9.61
Navaho	63.35	24.23	1.20	88.78	2.70	0.10	7.71	10.51
Sioux	61.08	18.03	2.04	81.15	5.42	0.83	12.48	18.73
Imperial	67.27	18.83	2.05	88.15	4.26	0.75	6.28	11.29
Apache	60.09	18.70	1.77	80.56	5.25	0.69	12.84	18.78
Choctaw	64.98	14.73	2.14	81.85	5.36	0.57	12.12	18.05
Grabohls	67.87	15.39	2.02	85.28	1.74	0	12.85	14.59
Wichita	71.28	17.30	0.50	89.08	2.74	0.10	6.48	9.32
Kanza	63.67	16.12	1.98	81.77	5.02	0.65	12.51	18.18
Mohawk	63.06	17.38	2.00	82.44	5.43	0.64	11.20	17.27
Pawnee	76.24	14.26	0.65	91.15	2.81	0.10	5.33	8.24
Melrose	66.34	18.33	2.59	87.26	3.61	0.10	8.05	11.76
Demas	63.29	15.53	2.31	81.13	4.94	0.57	13.27	18.78
Odom	65.67	15.01	2.37	83.05	5.20	0.41	11.14	16.75
Shawnee	65.65	14.58	2.28	82.51	4.84	0	12.63	17.47
Apalachee	65.10	14.49	2.25	81.84	5.06	0.48	12.21	17.75
Elliot	65.51	16.39	2.15	84.05	5.23	0.30	10.41	15.94
Native	63.27	19.45	2.13	84.85	5.21	0.20	9.33	14.74
Mandan	63.11	15.47	2.06	80.64	4.68	0.63	13.27	18.58
Cherokee	65.98	14.32	2.08	82.38	5.05	0.21	12.01	17.27
Brake	66.61	16.34	2.21	85.16	5.07	0.10	9.32	14.49
Tejas	63.38	15.25	2.13	80.76	5.56	0.60	12.44	18.60
Grapark	65.20	14.32	2.34	81.86	4.86	0.51	12.61	17.98
Western	67.47	15.03	2.01	84.51	5.53	0.10	9.63	15.26
Chichasaw	63.32	16.03	2.28	81.63	4.92	0.38	12.22	17.52
亚林29号	67.82	14.25	2.14	84.21	5.06	0.24	10.33	15.63
Mahan	76.42	14.21	0.61	91.24	2.82	0.11	5.40	8.33
金华	64.23	15.33	1.95	81.51	4.90	0.16	12.27	17.33
绍兴	63.32	15.21	2.25	80.78	5.30	0.30	13.10	18.70
黄山1号	66.28	14.89	2.23	83.40	5.02	0.21	11.05	16.28

2.5 主成分分析

薄壳山核桃种子经济性状评价的指标有很多,单纯根据某个或者某两个指标评价会导致评价结果不全面。为此,本文采用主成分分析的方法,对30个薄壳山核桃品种的14个经济指标进行主成分分析,根据方差积累贡献率>75%的原则提取主成分。结果看出,总方差78.715%的贡献率来自前5个主成分。即这5个主成分较好的代替了上述14个指标来评价薄壳山核桃的经济性状。

表 3 薄壳山核桃主成分的方差贡献率
Tab.3 Variance contribution rate of principal components of *Carya illinoensis*

主成分 Principal constituent	特征值 Eigenvalue	方差贡献率/% Variance contribution rate	方差总贡献率/% Total contribution rate of variance
1	3.869	29.765	29.765
2	2.203	16.945	46.710
3	1.584	12.181	58.891
4	1.312	10.096	68.987
5	1.265	9.728	78.715

由表 3 可知第一主成分方差贡献率为 29.675%, 根据特征值>1.000, 方差累积贡献率>75% 的原则, 选择这 5 个主成分进行分析。通过 SPSS22.0 处理数据得到主成分的载荷矩阵, 结果见表 4。第 1 主成分与纵径、百粒质量、油酸、出油率和产量高度正相关, 与亚麻酸、硬脂酸和棕榈酸高度负相关, 反映了薄壳山核桃的外形品质、产量品质和油脂品质。

表 4 薄壳山核桃主成分的荷载矩阵
Tab.4 Load matrix of principal components of *Carya illinoensis*

指标 Index	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2	主成分 3 Principal component 3	主成分 4 Principal component 4	主成分 5 Principal component 5
横径 Diameter transversa	0.538	0.119	-0.322	0.635	-0.095
纵径 Longitudinal diameter	0.611	0.665	0.353	-0.012	0.114
果形指数 Fruit shape index	0.330	0.642	0.548	-0.348	0.183
百粒质量 100-seed weight	0.602	0.406	0.078	0.462	-0.084
产量 Yield	0.433	-0.174	-0.485	0.065	0.398
种壳厚度 Seed shell	0.034	-0.466	0.552	0.507	-0.142
出仁率 Kernel yield	0.395	-0.062	-0.066	0.109	0.606
出油率 Kernel oil yield	0.576	-0.243	-0.198	-0.243	0.479
油酸 Oleic acid	0.863	0.016	-0.175	-0.047	-0.363
亚油酸 Linoleic acid	-0.032	-0.688	0.513	0.081	0.292
亚麻酸 Linolenic acid	-0.714	0.418	-0.156	0.036	0.067
硬脂酸 Stearic acid	-0.744	0.344	-0.311	0.216	0.177
花生酸 Arachidic acid	-0.501	0.304	0.225	0.432	0.417
棕榈酸 Palmitic acid	-0.846	0.326	-0.048	-0.137	0.067

表 5 薄壳山核桃主成分综合评价指数

Tab.5 Comprehensive evaluation index of principal components of *Carya illinoensis*

品种	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y 综合
Cheyenne	2.69	-2.74	2.05	0.39	-0.73	0.70
Navaho	1.58	-3.95	2.53	-0.59	1.23	0.21
Sioux	-1.60	1.48	2.53	0.38	1.21	0.30
Imperial	2.04	-0.67	0.87	2.84	1.18	1.27
Apache	-3.40	-1.12	-0.03	0.52	0.68	-1.38
Choctaw	1.02	1.44	-1.64	0.83	2.34	0.94
Grabohls	0.85	-0.12	1.08	-0.92	-1.82	0.12
Wichita	3.81	-2.18	-0.57	-0.73	-0.37	0.74
Kanza	-1.54	1.15	1.65	0.15	-0.85	-0.17
Mohawk	-1.61	-0.27	0.51	1.47	0.15	-0.38
Pawnee	5.44	-1.71	-1.88	0.52	0.08	1.48
Melrose	1.90	0.82	0.28	-0.17	0.09	0.83
Demas	-1.99	1.83	0.49	-2.58	0.60	-0.54
Odom	-1.36	0.16	0.06	2.06	-1.39	-0.38
Shawnee	-0.51	1.85	-0.09	-2.57	-1.07	-0.27
Apalachee	-1.59	1.04	-0.23	-1.32	0.54	-0.52
Elliot	-1.82	-1.34	-1.25	-0.21	0.19	-1.17
Native	-1.41	-2.14	-0.28	-0.77	0.74	-1.04
Mandan	-0.68	1.01	-0.70	-0.48	2.08	0.05
Cherokee	0.15	1.48	-0.16	0.19	0.09	0.38
Brake	-0.69	-1.14	-0.54	-0.59	-0.13	-0.68
Tejas	-1.68	1.66	-0.26	0.94	-0.42	-0.25
Grapark	-0.87	2.19	1.61	0.49	-1.12	0.32
Western	0.83	0.29	-2.19	0.43	-0.19	0.07
Chichasaw	-3.03	-1.16	-0.89	-1.32	-0.41	-1.75
亚林	0.71	1.94	-0.81	0.85	-1.07	0.54
Mahan	5.90	1.57	1.02	-0.18	-2.01	2.45
金华	1.27	-0.35	0.75	-0.52	1.56	1.04
绍兴	-1.58	-0.44	-2.05	1.04	0.57	-0.80
黄山 1 号	-1.83	-0.59	-0.35	-0.14	-1.73	-1.10

根据 5 个主成分的载荷矩阵计算出每个主成分的得分,即 Y1-Y5,再以每个主成分的贡献率为权重对主成分得分进行加权平均,求得主成分综合得分 Y。由表 5 看出,综合得分较高的品种有‘Mahan’‘Pawnee’‘Imperial’‘金华’‘Choctaw’,评价指数都达到了 0.9 以上,表明这 5 个品种的薄壳山核桃综合经济性状好,即适合做坚果食用,又适合提取油脂,产量也不错。‘Apache’‘Elliot’‘Native’这几个综合评分较低的品种,在生产上不做大面积推广种植,可以根据它们各自的特征,比如抗病能力、抗逆能力,作为授粉品种或者砧木,在特定地区栽培。

3 结论与讨论

薄壳山核桃是综合经济、生态、社会三大效益于一身的优良树种,兼有观赏、食用和用材的特点,综

合效益高,市场前景广阔,是乡村振兴、精准扶贫的优良树种。湖南是引种薄壳山核桃的最早地区之一^[13],但是目前产业一直未发展壮大,主要原因是没有筛选出适宜当地环境的优良品种。本研究通过对湖南引种的30个薄壳山核桃新品种的果实进行调查分析,比较了各品种的产量、百粒质量和果形指数等重要指标之间的差异,分析了不同品种薄壳山核桃的形态特征和油脂品质,并进行了主成分分析,筛选出了适宜的优良品种,包括‘Pawnee’‘Imperial’‘金华’‘Choctaw’4个良种,为今后薄壳山核桃产业的发展提供了技术支撑。但是本次调查的主要是9~10年生的幼树,据相关研究,15年左右才能进入丰产期^[4],因此其产量观察还需要继续进行。同时,薄壳山核桃根据雌雄花开放时间差异,分为雌先型、雄先型和同时型等,因此种植过程中还需要考虑品种配置问题,以便达到最佳的产量^[16]。

不饱和脂肪酸的含量是评价油脂品质的重要依据之一。本研究发现,不同品种的薄壳山核桃不饱和脂肪酸的含量差异显著,最高的达到90.24%,最低的只有80.26%。这可能与不同薄壳山核桃品种的成熟性和采收时间有关系。因为在果实发育的过程中,随着果仁发育的成熟,粗脂肪含量会逐渐上升,饱和脂肪酸含量会逐渐减少,不饱和脂肪酸含量逐渐增加,这一变化过程在薄壳山核桃果实发育后期到采收期的一个月时间内尤其明显^[17]。中晚熟的品种比早熟品种不饱和脂肪酸含量要高一些,采收期长的品种比采收期短的品种饱和脂肪酸含量要少一些。下一步可以继续开展不同采收时间薄壳山核桃油脂脂肪酸组成的比较分析,为确定合理采收时间提供依据。

通过主成分分析,本研究获得综合得分较高的品种为‘Mahan’‘Pawnee’‘Imperial’‘Mahan’,但是其中‘Mahan’这个品种虽然果大并且早实,但极易感染黑斑病,导致空壳现象严重,不建议推广种植。也发现了‘Apache’‘Elliot’‘Native’这几个综合评分较低品种,在生产上不宜做大面积推广种植,但可以根据它们各自的特征,比如抗病能力、抗逆能力,作为授粉品种或者砧木,在特定地区栽培或者研究使用。其他4个品种‘Pawnee’‘Imperial’‘金华’‘Choctaw’没有明显的短板,可以考虑作为良种使用。当然,薄壳山核桃用途广泛,果用、油用需要不同的品种及其栽培技术,比如如果用还需要进行口感测试,这些都是下一步要开展的工作。

综上所述,湖南省的气候和土壤条件比较适宜种植薄壳山核桃,适宜的品种有‘Pawnee’‘Imperial’‘金华’‘Choctaw’,但在栽培过程中要注意配置正确的授粉品种。同时薄壳山核桃的产量、品质与品种和繁殖方式、采收时间等也有较大关系。因此在栽培中,要在适宜主栽品种的基础上,研究并推广品种配置、整形修剪、合理采收等配套栽培技术,可以很好的克服结实迟群体产量低的缺点,并取得良好的种植效益。

参考文献 References:

- [1] 吴国良,张凌云,潘秋红,等.美国山核桃及其品种性状研究进展[J].果树学报,2003,20(5):404-409.
WU G L,ZHANG L Y,PAN Q H,et al.Research progress of *Carya cathayensis* and its varieties[J].Journal of fruit science, 2003,20(5):404-409.
- [2] 王萍,张银波,江木兰,等.多不饱和脂肪酸的研究进展[J].中国油脂,2008,33(12):42-46.
WANG P,ZHANG Y B,JIANG M L,et al.Research progress of polyunsaturated fatty acids[J].Chinese journal of oils and fats,2008,33(12):42-46.
- [3] 张日清,吕芳德.优良经济树种:美国山核桃[J].广西林业科学,1998,9(4):202-206.
ZHANG R Q,LYU F D.Pecan,an excellent economic tree species[J].Guangxi forestry science,1998,9(4):202-206.
- [4] 张日清,李江,吕芳德.我国引种美国山核桃历程及资源现状研究[J].经济林研究,2003,3(4):107-109.
ZHANG R Q,LI J,LYU F D.Study on the introduction history and resource status of *Carya cathayensis* in China[J].Economic forest research,2003,3(4):107-109.
- [5] 韩宁林.薄壳山核桃在中国[J].浙江农林科技,1995,6(3):47-49.
HAN N L.*Carya illinoensis* in China[J].Zhejiang agriculture and forestry science and technology,1995,6(3):47-49.
- [6] 李健.薄壳山核桃种质资源生物学特性研究及遗传多样性分析[D].杭州:浙江农林大学,2018.
LI J.Study on biological characteristics and genetic diversity of *Carya illinoensis* germplasm resources[D].Hangzhou:Zhejiang A&F university,2018.

- [7] 许梦洋,贾晓东,罗会婷,等.6个薄壳山核桃品种的果实发育过程及果实结构和性状变化[J].植物资源与环境学报,2020,29(2):46-54.
XU M Y, JIA X D, LUO H T, et al. Fruit development process and fruit structure and character changes of six *Carya illinoensis* varieties[J]. Acta botanica Sinica, 2020, 29(2): 46-54.
- [8] 杨康.美国山核桃在渝东南地区的生态适应性及开发利用研究[D].重庆:西南大学,2016.
YANG K. Study on ecological adaptability, development and utilization of *Carya illinoensis* in southeast Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University, 2016.
- [9] 黄玉华.薄壳山核桃‘波尼’果实不同发育时期营养成分的动态变化[D].浙江:浙江农林大学,2017.
HUANG Y H. Dynamic changes of nutritional components in the fruit of *Carya illinoensis* ‘Pawnee’ at different developmental stages[D]. Zhejiang: Zhejiang A&F University, 2017.
- [10] 于敏,徐宏化,王正加,等.薄壳山核桃油成分及抗氧化性研究[J].中国粮油学报,2016,31(9):86-90.
YU M, XU H H, WANG Z J, et al. Study on the composition and antioxidant activity of *Carya illinoensis* oil[J]. China journal of cereals and oils, 2016, 31(9): 86-90.
- [11] POLMANN G, BADIA V, FRENA M, et al. Enzyme-assisted aqueous extraction combined with experimental designs allow the obtaining of a high-quality and yield pecan nut oil[J]. LWT-Food science and technology, 2019, 113(113): 108283.
- [12] 张鹏.山核桃的果实特性及制油工艺的研究[D].长沙:中南林业科技大学,2012.
ZHANG P. Study on fruit characteristics and oil-making technology of *Carya cathayensis*[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2012.
- [13] 张日清,吕芳德,张勋,等.美国山核桃在我国扩大引种的可行性分析[J].经济林研究,2005,9(4):1-10.
ZHANG R Q, LU F D, ZHANG X, et al. Feasibility analysis of expanding introduction of *Carya cathayensis* in China[J]. Economic forest research, 2005, 9(4): 1-10.
- [14] 刘雪芳,郝利平,常月梅.索氏抽提法提取核桃油工艺的优化[J].山西农业科学,2017,45(1):34-36.
LIU X F, HAO L P, CHANG Y M. Optimization of extraction technology of walnut oil by Soxhlet extraction[J]. Shanxi agricultural sciences, 2017, 45(1): 34-36.
- [15] 李丹华,朱圣陶.气相色谱法测定常见植物油中脂肪酸[J].粮食与油脂,2006,31(8):46-48.
LI D H, ZHU S T. Determination of fatty acids in common vegetable oils by gas chromatography[J]. Grain and oil, 2006, 31(8): 46-48.
- [16] 蒋瑶,魏海林,高昌虎,等.湖南低山丘陵区薄壳山核桃的开花物候期观测及品种配置[J].南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(1):53-62.
JIANG Y, WEI H L, GAO C H, et al. Observation on flowering phenology and variety arrangement of *Carya illinoensis* in low mountain and hilly area of Hunan Province[J]. Journal of Nanjing forestry university (natural science edition), 2021, 45(1): 53-62.
- [17] 常君,任华东,姚小华,等.薄壳山核桃果实发育后期油脂和矿质养分动态变化分析[J].林业科学研究,2019,32(6):122-139.
CHANG J, REN H D, YAO X H, et al. Analysis of dynamic changes of oil and mineral nutrients in *Carya illinoensis* fruit at late development stage[J]. Forestry science research, 2019, 32(6): 122-139.