

黄龙‘香玲’核桃果实成熟过程中经济性状研究

李亚群^{1,2}, 苏淑钗^{1,2}

(1. 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 北京林业大学 国家能源非粮生物质原料研发中心, 北京 100083)

摘要:旨在为核桃品质调控、机械化适时采收等提供理论依据,以陕西省黄龙县广泛种植的‘香玲’核桃为试验材料,分别于2021年8月6日、8月13日、8月18日、8月23日、8月30日、9月6日、9月10日、9月13日、9月17日、9月21日进行采样,测定其表观性状指标(鲜果三径、鲜果质量、坚果三径、坚果质量、出仁率,青皮与核仁色值)及内在品质指标(核仁含水率、可溶性糖含量、蛋白质含量、含油率,核桃油脂脂肪酸组成及含量,内种皮总酚含量、总黄酮含量),并进行综合分析。结果表明:随采收时间的推迟,核桃鲜果质量、鲜果三径、出仁率总体呈先上升后保持稳定的变化趋势,适时推迟采收时间有利于提高核桃产量;核桃青皮颜色随采收时间的推迟由青绿色向黄绿色转变,核仁颜色从亮白色向乳黄色转变,并且核桃青皮与核仁颜色转变的节点是9月6日;核仁含水率与蛋白质含量随采收时间的推迟持续下降后基本保持稳定;核仁可溶性糖含量总体随采收时间的推迟持续下降,含油率则随采收时间的推迟总体呈上升趋势,但采收过迟含油率则会下降;不同采收时间核桃油脂脂肪酸组含量存在差异,但脂肪酸种类保持不变;内种皮总酚与总黄酮含量总体变化趋势基本一致,均随着采收时间的推迟持续增加;脂肪酸各组分之间存在转化竞争关系,蛋白质、可溶性糖含量与鲜果横径、鲜果侧径、出仁率呈显著或极显著负相关($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$),含油率、总酚、总黄酮、饱和脂肪酸含量则与鲜果横径、鲜果侧径、出仁率呈极显著正相关($p < 0.01$);对核桃主要经济性状进行主成分分析,认为陕西黄龙‘香玲’核桃适宜在9月17日之后采收。

关键词:‘香玲’核桃;采收时间;表观性状;内在品质;脂肪酸

中图分类号:TS222+.1;F326.12 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2023)09-0099-08

Economic characters of Xiangling walnut fruit at Huanglong during ripening

LI Yaqun^{1,2}, SU Shuchai^{1,2}

(1. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. National Energy R&D Center for Non-Food Biomass, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: To provide theoretical basis for walnut quality control and timely mechanized harvesting, with Xiangling walnut at Huanglong of Shaanxi as raw material, samples were collected on August 6th, August 13th, August 18th, August 23th, August 30th, September 6th, September 10th, September 13th, September 17th and September 21th in 2021, their phenotypic characters (three diameter and mass of fresh fruit and nuts, kernel yield, color values of green husk and kernel) and internal quality indexes (moisture content, soluble sugar content, protein content and oil content of kernels, composition and content of fatty acids of oil, total phenol content and total flavonoids content of pellicle) were measured and analyzed. The results showed that the mass and three diameter of fresh fruit, and kernel yield

increased and then remained stable with the delay of harvest time. Timely postponement of harvest time was beneficial to increase walnut yield. The color of walnut green husk changed from dark-green to yellow-green with the delay of harvest time, while the kernel color changed from bright

收稿日期:2022-05-24;修回日期:2023-05-10

基金项目:国家重点研发计划(2019YFD1002401)

作者简介:李亚群(1996),女,在读硕士,研究方向为经济林(果树)栽培与利用(E-mail)yq10925@163.com。

通信作者:苏淑钗,教授,博士生导师(E-mail)568378121@qq.com。

white to milky yellow, and the change in color of the green husk and kernel occurred on September 6th. Moisture content and protein content of kernel decreased and then kept stable with the delay of harvest time. The soluble sugar content of kernel decreased continuously with the delay of harvest time, while the oil content increased with the delay of harvest time, but the oil content decreased when the harvest time was too late. The fatty acid content of walnut oil varied with different harvest time, but its species remained unchanged. Total phenol content and total flavonoid content of pellicle showed the same trend that increased with the delay of harvest time. There were transformation and competition among fatty acid components. The protein content and soluble sugar content were significantly or very significantly negatively correlated with kernel yield, transverse diameter and lateral diameter of fresh fruit ($p < 0.05$ or $p < 0.01$), while oil content, total phenol content, total flavonoid content and saturated fatty acid content were significantly positively correlated with kernel yield, transverse diameter and lateral diameter of fresh fruit ($p < 0.01$). It was concluded that Xiangling walnut at Huanglong of Shaanxi was suitable for harvesting after September 17th through principal component analysis of main economic characters of walnut.

Key words: Xiangling walnut; harvest time; phenotypic character; internal quality; fatty acid

核桃(*Juglans regia* L.)是胡桃科、胡桃属植物,居世界四大坚果(核桃、扁桃、腰果、榛子)之首^[1],在我国分布广泛,栽培历史已有千年之久。我国核桃产业在过去的几十年间飞速发展,主要成就集中在遗传育种、栽培管理、栽培模式创新、病虫害防控、产品加工和产业经济等方面^[2]。联合国粮农组织统计数据显示,2010—2016年间我国核桃规模年产量超过365万t,位居世界第一。陕西省黄龙县被原国家林业局命名为“中国核桃之乡”,黄龙核桃也是我国国家地理标志产品,但其成熟过程中经济性状的综合研究还未见报道。本文对陕西省黄龙县广泛栽植的‘香玲’核桃成熟过程中鲜果三径、果型指数、鲜果质量、坚果三径、核型指数、坚果质量、出仁率、青皮及核仁颜色等表观性状,以及核仁含水率、含油率、可溶性糖含量、蛋白质含量,内种皮总酚与总黄酮含量,核桃油脂脂肪酸组成及含量等内在品质进行综合分析,以期对核桃的栽培管理、机械化适时采收等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

供试品种为黄龙县广泛种植的‘香玲’核桃,试验地位于陕西省延安市黄龙县三岔镇(35°38'N, 109°48'E),平均海拔1500m,年均降水量563.9mm,无霜期平均190d,属大陆性高山气候,日照时间长,昼夜温差大。选择6株长势良好,树形相近,无病虫害,结果率相当的‘香玲’核桃树,每次从每棵树的东、西南、北4个方向每个方向随机采2个核桃,每棵树采8个核桃作为试验材料。采样从2021年8月6日开

始,9月前每5~7d采一次,9月后每3~5d采一次,9月21日结束采样,期间共采集样品10次。用干冰运回实验室,保存至-80℃冰箱。

蒽酮-浓硫酸显色剂(现用现配)、葡萄糖标准溶液、浓硫酸、硫酸钾、硫酸铜、过氧化氢、乙醇、没食子酸标准液、福林酚、碳酸钠溶液、芦丁标准液、亚硝酸钠溶液、硝酸铝溶液、氢氧化钠溶液、石油醚、异辛烷、KOH-CH₃OH溶液、NaHSO₄·H₂O。

1.1.2 仪器与设备

BK-318数显游标卡尺,高精度小型电子秤,鼓风干燥箱,莱驰MM400球磨机,SQP千分之一电子天平,UV-2600分光光度计,Soxtec2050索氏提取仪,KQ-400DE型数控超声波清洗器,高速冷冻离心机,HH-6数显恒温水浴锅,Agilent 7890型气相色谱仪,CS-200色差仪,K1100凯氏定氮仪。

1.2 试验方法

1.2.1 样品处理

采用混样处理,每个样品中的核仁一分为二,一半用液氮研磨用作鲜样,一半烘干后研磨用作干样,整个核桃的内种皮用液氮研磨作鲜样,以此来提高测定精度,减少试验误差。

1.2.2 表观性状测定

采集样品后,在采摘地用游标卡尺测定鲜果三径(横径、纵径、侧径),用电子天平测定鲜果质量。在实验室,将核桃青皮全部切除干净后用纱布将坚果表面汁液擦拭干净,称量坚果质量,用游标卡尺测坚果三径,计算果型指数(纵径与横径的比值,核型指数同理)。将核桃夹碎,取出核仁,测其质量,计算出仁率(核仁质量与坚果质量的比值)。

核桃青皮与核仁的颜色使用色差仪进行测定,从 L 、 a 、 b 3 方面评价青皮及核仁颜色。其中 L 代表亮度, a 代表红绿色差, a 为负值时, 绝对值越大表示颜色越绿, b 代表黄蓝色差, b 为正值时, 值越大表示颜色越黄。核桃青皮颜色测定: 沿赤道线等分为 4 份, 测定 4 个点取其平均值。核仁颜色测定: 1 个核桃仁分为 4 瓣, 每瓣随机测定 2 个点, 每个核桃仁测定 8 个点, 取其平均值。

1.2.3 内在品质指标测定

含水率的测定参照 GB 5009.3—2016; 可溶性糖含量测定采用浓硫酸蒽酮比色法^[3]; 蛋白质含量的测定参照 GB 5009.5—2016; 总酚与总黄酮的提

取均采用超声波辅助法^[4], 再采用 Folin-Ciocalteu 法^[5]测定总酚含量, 铝离子络合显色法^[6]测定总黄酮含量; 含油率的测定参照 GB/T 14772—2008; 核桃油脂脂肪酸组成及含量的测定参照 GB 5009.168—2016, 采用气相色谱法测定。

1.2.4 数据处理

采用 Excel 2010 进行数据整理, 并绘制图表, 采用 SPSS 23 进行显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 核桃的表观性状

不同采收时间核桃的表观性状见表 1。

表 1 不同采收时间核桃的表观性状

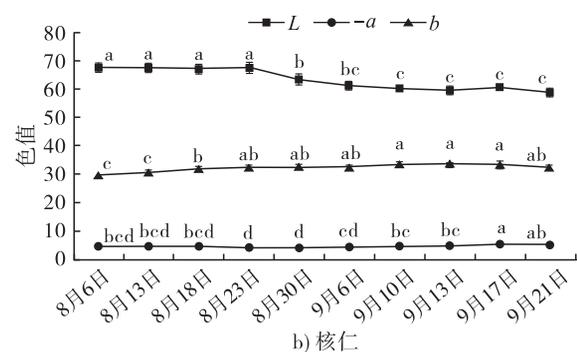
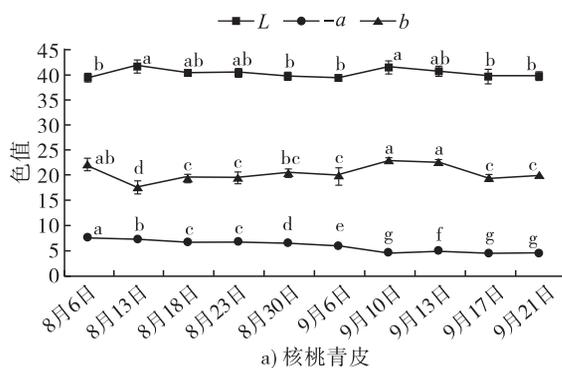
指标	8月6日	8月13日	8月18日	8月23日	8月30日	9月6日	9月10日	9月13日	9月17日	9月21日
鲜果横径/mm	41.89±0.84 ^{de}	40.39±0.66 ^e	41.13±0.92 ^{de}	41.12±1.11 ^{de}	40.50±0.81 ^e	42.65±0.48 ^{cd}	43.55±0.32 ^{bc}	43.65±0.83 ^{abc}	44.55±0.03 ^{abc}	45.15±1.81 ^a
鲜果纵径/mm	49.03±1.85 ^{ab}	44.17±0.27 ^d	45.93±1.10 ^{cd}	45.29±0.55 ^d	45.57±0.61 ^d	48.58±1.78 ^b	48.04±1.33 ^{bc}	49.54±2.12 ^{ab}	50.95±0.45 ^a	51.04±0.61 ^a
鲜果侧径/mm	43.28±1.18 ^{cde}	41.27±0.21 ^g	42.90±1.03 ^{def}	42.14±0.61 ^{ef}	41.55±0.36 ^f	44.63±1.06 ^{bc}	44.28±0.74 ^{bcd}	45.03±1.20 ^{ab}	45.40±0.49 ^{ab}	46.16±0.63 ^a
果型指数	1.18±0.01 ^a	1.09±0.01 ^e	1.12±0.00 ^{bcd}	1.10±0.01 ^d	1.13±0.02 ^{bcd}	1.14±0.03 ^b	1.10±0.01 ^{cd}	1.14±0.02 ^b	1.14±0.02 ^b	1.13±0.01 ^{bc}
鲜果质量/g	51.41±4.17 ^a	46.87±0.63 ^e	47.29±3.03 ^{bc}	46.30±1.07 ^c	46.93±0.59 ^e	51.99±3.81 ^a	49.49±3.27 ^{ab}	52.24±4.95 ^a	52.96±1.13 ^a	54.30±1.56 ^a
坚果横径/mm	33.28±0.43 ^a	32.45±0.21 ^{ab}	32.28±0.77 ^{ab}	32.23±0.54 ^{ab}	31.69±0.28 ^b	32.95±0.88 ^a	33.06±0.81 ^a	32.98±1.25 ^a	32.98±0.76 ^a	33.37±0.03 ^a
坚果纵径/mm	38.33±1.13 ^a	34.49±0.76 ^e	34.78±0.96 ^{de}	34.67±0.35 ^e	34.65±0.17 ^e	37.86±1.93 ^{ab}	35.44±1.40 ^{cde}	36.68±1.61 ^{abcd}	36.72±0.49 ^{abc}	36.04±1.20 ^{bcde}
坚果侧径/mm	33.00±0.55 ^{ab}	31.80±0.25 ^b	32.29±0.66 ^b	31.85±0.71 ^b	31.03±0.38 ^e	34.19±2.24 ^a	32.25±0.70 ^b	32.89±1.03 ^{ab}	32.67±0.66 ^{ab}	33.04±0.03 ^{ab}
核型指数	1.15±0.02 ^a	1.06±0.02 ^e	1.08±0.01 ^{bc}	1.08±0.01 ^{bc}	1.09±0.01 ^{bc}	1.15±0.05 ^a	1.07±0.02 ^{bc}	1.11±0.01 ^{ab}	1.11±0.04 ^{ab}	1.08±0.04 ^{bc}
坚果质量/g	22.24±1.21 ^a	19.23±0.38 ^{bc}	19.03±1.06 ^{bc}	18.63±0.31 ^{bc}	17.59±0.06 ^d	19.89±1.51 ^b	18.07±1.45 ^c	18.95±1.65 ^{bc}	19.02±0.58 ^{bc}	19.06±0.46 ^{bc}
鲜核仁质量/g	6.28±0.16 ^{cd}	5.57±0.35 ^e	5.36±0.15 ^e	5.36±0.15 ^e	5.77±0.21 ^{de}	6.93±0.33 ^{ab}	6.66±0.49 ^{bc}	7.25±0.76 ^{ab}	7.41±0.40 ^a	7.38±0.19 ^a
出仁率/%	28.03±1.25 ^d	29.03±1.41 ^d	28.21±0.26 ^d	28.79±0.94 ^d	32.80±1.12 ^e	34.92±1.08 ^e	36.91±0.58 ^b	38.21±1.07 ^{ab}	38.95±1.07 ^a	38.97±0.14 ^a

注: 同行不同字母表示具有显著性差异 ($p < 0.05$)

由表 1 可知, 随着采收时间的推迟, 鲜果横径、纵径、侧径、质量总体呈先上升后无明显变化的趋势, 稳定后分别为 43.65~45.15 mm、49.54~51.04 mm、45.03~46.16 mm、49.49~54.30 g, 这与巩芳娥等^[7]对甘肃陇南‘香玲’核桃的研究结果相似。8月6日鲜果质量稍大, 可能是由于采样误差引起的, 而坚果质量稍大则可能是由采样误差与手工脱青皮引起的; 鲜果果型指数范围为 1.09~1.18, 前期波动变化, 后期无明显变化。坚果质量、坚果三径与核型

指数则无明显变化规律。鲜核仁质量总体持续上升, 至 9月13日后基本稳定在 7.25~7.41 g; 出仁率则与鲜核仁质量变化趋势基本一致, 前期上升, 9月13日之后稳定在 38.21%~38.97%, 出仁率的变化与武静^[8]、史文君^[9]、高瑞琴^[10]、虎云青^[11]等的研究结果一致。综上可知, 适当延迟采收时间可提高核桃产量。

不同采收时间核桃青皮与核仁色值见图 1。



注: 同一指标不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。下同

图 1 不同采收时间核桃青皮与核仁色值

由图 1a 可知:‘香玲’核桃青皮在 8 月 6 日到 9 月 6 日期间 a 值为 $-7.48 \sim -5.85$, 9 月 6 日之后为 $-4.89 \sim -4.38$; L 值与 b 值总体则无明显变化规律, 采收期内分别为 $39.37 \sim 41.42$ 、 $19.31 \sim 22.87$ 。由图 1b 可见:核仁在 8 月 6 日到 8 月 23 日期间 L 值、 b 值分别为 $67.55 \sim 67.89$ 、 $29.88 \sim 32.61$, 9 月 6 日到 9 月 21 日期间分别为 $59.25 \sim 61.49$ 、 $32.59 \sim 33.75$; 9 月 6 日到 9 月 21 日期间总体来看 a 值无明显变化。综上, 随采收时间的延迟核桃青皮会从青绿色向黄绿色转变, 而核仁从亮白色向乳黄色转变, 并且综合核仁与核桃青皮色值变化, ‘香玲’核桃青皮颜色与核仁颜色转变的节点可能是 9 月 6 日。

2.2 核桃的内在品质指标

2.2.1 核仁含水率

不同采收时间核仁含水率见图 2。

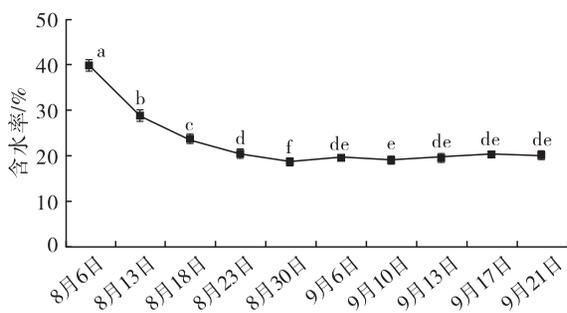


图 2 不同采收时间核仁含水率

由图 2 可知,核仁含水率最大值在 8 月 6 日, 为 39.91%, 随着采收时间的推迟,核仁含水率显著下降, 8 月底到 9 月初含水率达到最低值 19.4% 左右后趋于平稳。

2.2.2 核仁可溶性糖、蛋白质含量和含油率

糖、蛋白质、油脂是植物体内三大营养物质, 为植物生命活动提供能量, 是维持正常生命功能的保障。不同采收时间核仁可溶性糖、蛋白质含量和含油率见图 3。

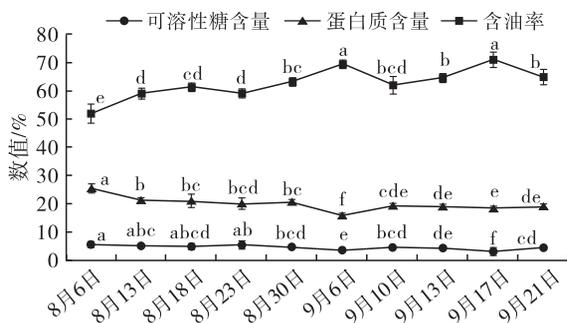


图 3 不同采收时间核仁可溶性糖、蛋白质含量和含油率

由图 3 可知, 8 月 6 日核仁蛋白质含量最高, 为 25.64%, 之后缓慢下降, 8 月 30 日到 9 月 6 日显著下降并达到最低值 15.72%, 9 月 6 日到 9 月 10 日显著上升至 19.41%, 之后基本稳定在 18.30% ~ 19.41%。随采收时间的推迟,核仁蛋白质含量总体呈先下降后趋于稳定的变化趋势, 这与张志华^[12]、陈利英^[13]、李永涛^[14]等的研究结果相似, 而张翠芳^[15]、陈虹^[16]等研究认为随采收时间的推迟核仁蛋白质含量上升。本研究中,核仁可溶性糖含量在 8 月 6 日最高, 为 5.63%, 8 月 6 日到 9 月 6 日总体持续下降, 9 月 6 日到 9 月 17 日小幅回升后下降, 9 月 17 日到 9 月 21 日有小幅回升, 可溶性糖含量总体呈下降趋势, 这与李永涛^[14]对‘香玲’核桃中可溶性糖含量变化的研究结果相同, 而武静^[8]对山西 4 个品种核桃研究则认为可溶性糖含量随采收时间推迟而上升。随采收时间的推迟,核仁中可溶性糖与蛋白质的变化研究结果存在差异, 这可能与品种、产地等因素有关。本研究中,核仁含油率在 8 月 6 日时最低, 为 51.95%, 8 月 6 日到 8 月 18 日显著上升, 8 月 18 日到 8 月 23 日含油率稍有回落, 之后显著上升, 9 月 6 日含油率达到 69.24%, 9 月 6 日到 9 月 10 日含油率显著下降, 之后又显著升高, 并且在 9 月 17 日达到最大值 70.87%, 9 月 6 日到 9 月 13 日核仁含油率明显下降, 推测可能是由于该段时间连续低温降雨所致。核仁含油率总体呈上升趋势, 并且在前期显著上升, 油脂快速积累, 但采收过迟含油率则会下降。综上,核仁含油率与可溶性糖含量基本呈相反的变化趋势, 前期与蛋白质含量呈相反的变化趋势, 后期蛋白质含量基本稳定, 推测这可能是因为前期核仁油脂快速积累, 可溶性糖与蛋白质共同为油脂积累提供底物, 后期油脂积累速率下降, 蛋白质含量趋于稳定, 油脂与糖互相转化, 也可能是因为糖同时为蛋白质和油脂积累提供能量, 蛋白质与油脂存在底物竞争关系, 具体原因有待进一步研究。

2.2.3 核桃油脂脂肪酸组成及含量

不同采收时间核桃油脂脂肪酸组成及含量见表 2。

由表 2 可知, ‘香玲’核桃油脂脂肪酸主要由油酸、亚油酸、亚麻酸、棕榈酸、硬脂酸以及少量的棕榈烯酸、花生酸、顺 11-二十碳烯酸组成, 其中亚油酸含量最高, 为 61.77% ~ 64.70%, 其次是油酸 (17.00% ~ 19.50%)、亚麻酸 (9.36% ~ 11.23%)、棕榈酸 (5.83% ~ 6.68%)、硬脂酸 (1.99% ~ 2.27%), 最后是含量不足 0.3% 的棕榈烯酸

(0.05%~0.06%)、花生酸(0.04%~0.06%)、顺11-二十碳烯酸(0.16%~0.20%),并且棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸含量之和超过99%。核桃油脂肪酸的种类与巩芳娥^[7]、郝艳宾^[17]、虎海防^[18]等对‘香玲’核桃油的研究结果基本一致,但含量有所不同,这可能是由于产地环境不同所致^[19-20]。本研究发现,‘香玲’核桃油UFA含量高达90%以上,其中MUFA含量为17.23%~19.76%,PUFA含量为71.36%~74.55%,SFA含量为8.11%~8.83%,符合联合国粮农组织发布的《健康食用油标准》中SFA比例占10%以下的规定。本研究发现,随着采收时间的推迟,核桃油中油酸含量总体呈波动性下降-上升-下降的变化趋

势,而亚油酸、亚麻酸含量则总体呈波动性上升-下降-上升的变化趋势,与油酸变化趋势相反,棕榈酸含量总体呈先小幅下降后大幅上升的变化趋势,硬脂酸含量则总体呈先上升后下降的变化趋势,棕榈烯酸、花生酸、顺11-二十碳烯酸含量则变化不明显。SFA与UFA含量随采收时间的推迟无明显变化,而MUFA含量总体呈下降-上升-下降的变化趋势,PUFA含量则与之相反,总体呈上升-下降-上升的变化趋势。研究表明,脂肪酸各组分之间存在竞争转化关系,总脂肪含量在统计学上被认为是大数定律中的一个常数,脂肪酸组成之间的数量关系反映了它们合成代谢过程中的动态平衡^[21]。

表2 不同采收时间核桃油脂肪酸组成及含量

脂肪酸	8月6日	8月13日	8月18日	8月23日	8月30日	9月6日	9月10日	9月13日	9月17日	9月21日
油酸/%	19.50	17.20	18.03	17.10	17.40	17.47	19.00	18.03	18.47	17.00
亚油酸/%	62.00	64.07	63.70	64.70	63.43	63.70	61.90	62.83	61.77	62.93
亚麻酸/%	9.36	10.40	9.75	9.85	10.77	10.22	10.60	10.26	10.77	11.23
棕榈酸/%	6.24	5.98	6.10	5.83	5.94	6.11	6.08	6.46	6.68	6.55
棕榈烯酸/%	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05
硬脂酸/%	1.99	2.08	2.14	2.22	2.18	2.27	2.11	2.15	2.08	2.00
花生酸/%	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.06	0.04
顺11-二十碳烯酸/%	0.20	0.18	0.19	0.19	0.19	0.16	0.19	0.17	0.16	0.18
SFA/%	8.28	8.11	8.30	8.11	8.16	8.44	8.24	8.64	8.83	8.59
MUFA/%	19.76	17.44	18.27	17.35	17.64	17.68	19.25	18.26	18.69	17.23
PUFA/%	71.36	74.47	73.45	74.55	74.20	73.92	72.50	73.09	72.54	74.16
UFA/%	91.12	91.91	91.73	91.90	91.84	91.60	91.75	91.35	91.23	91.40
油酸/亚油酸	0.31	0.27	0.28	0.26	0.27	0.27	0.31	0.29	0.30	0.27
亚油酸/亚麻酸	6.62	6.16	6.53	6.57	5.89	6.23	5.84	6.12	5.74	5.60
MUFA/PUFA	0.28	0.23	0.25	0.23	0.24	0.24	0.27	0.25	0.26	0.23

注:SFA. 饱和脂肪酸;MUFA. 单不饱和脂肪酸;PUFA. 多不饱和脂肪酸;UFA. 不饱和脂肪酸

由表2还可知,亚油酸与亚麻酸含量比值为5.60~6.62,符合联合国粮农组织发布的《健康食用油的标准》中亚油酸与亚麻酸含量比值大于4的要求;油酸与亚油酸含量比值为0.26~0.31, MUFA与PUFA含量比值为0.23~0.28,随着采收时间的推迟油酸与亚油酸含量比值和MUFA与PUFA含量比值的变化趋势相似,总体呈下降-上升-下降的趋势,可能是由于‘香玲’核桃油MUFA主要是由油酸组成,而PUFA主要由亚油酸

组成所致;亚油酸与亚麻酸含量比值总呈波动性下降-上升-下降变化,与亚油酸、亚麻酸含量变化相反,这可能是亚麻酸的变化对其影响较大所致。

2.2.4 核桃内种皮总酚、总黄酮含量

多酚与黄酮是广泛存在于植物体内的次生代谢物质,在核桃不同部位含量差异较大,多富集在核桃内种皮。不同采收时间核桃内种皮总酚、总黄酮含量见图4。

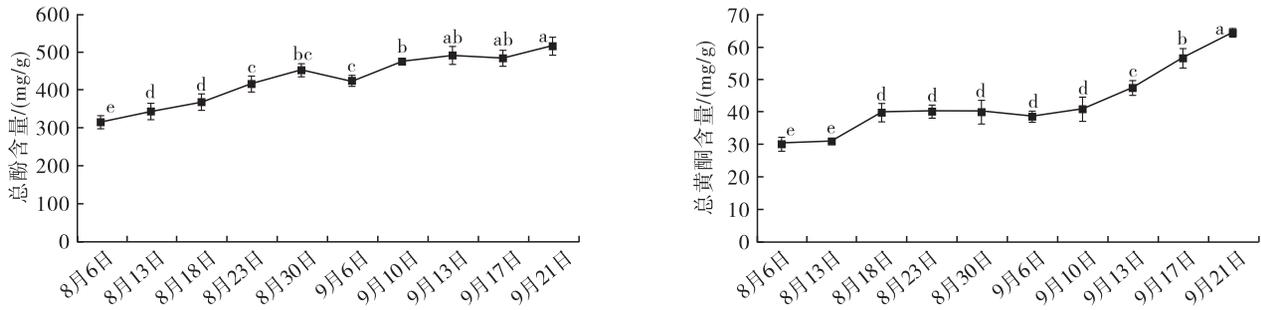


图4 不同采收时间核桃内种皮总酚、总黄酮含量

由图4可知,核桃内种皮总酚含量在8月6日到8月30日持续升高,8月30日到9月6日小幅下降,之后继续上升,9月10日至9月17日趋于稳定,之后小幅上升,在9月21日达到最大值(516 mg/g),核桃内种皮总酚含量总体呈上升趋势,这与史斌斌^[22]的研究结果相似,与王勇等^[23]的研究结果不同。核桃内种皮总黄酮含量在8月6日到8月18日小幅上升,之后趋于平稳,9月10日之后大幅上升,直到9月21日达到最大值(64.2 mg/g)。核桃内种皮总酚与

总黄酮随采收时间的推迟变化规律基本相同,与史斌斌^[22]在铁核桃中的研究结果一致,而黄玉华^[24]对薄壳山核桃的研究则认为内种皮总酚与黄酮变化趋势并不相同,这可能与树种有关。成熟过程中内种皮总酚与黄酮含量的变化规律与环境有关,当受到外界刺激时具有抵御能力的总酚、黄酮含量升高以保护核仁^[25],也可能受其蛋白质、氨基酸组分与含量的影响^[26]。

2.3 相关性分析

核桃脂肪酸组分 Pearson 相关性分析见表3。

表3 核桃脂肪酸组分 Pearson 相关性分析

脂肪酸	亚油酸	亚麻酸	棕榈酸	棕榈烯酸	硬脂酸	花生酸	顺11-二十碳烯酸	油酸
亚油酸	1							
亚麻酸	0.103	1						
棕榈酸	-0.387 *	0.202	1					
棕榈烯酸	-0.112	-0.182	0.370 *	1				
硬脂酸	0.124	-0.204	-0.455 *	-0.512 **	1			
花生酸	-0.201	-0.158	-0.321	-0.023	0.394 *	1		
顺11-二十碳烯酸	-0.097	-0.415 *	-0.511 **	-0.114	-0.068	-0.092	1	
油酸	-0.838 **	-0.564 **	0.057	0.127	0.037	0.317	0.370 *	1

注: * 表示在 0.05 级别(双尾)相关性显著; ** 表示在 0.01 级别(双尾)相关性极显著。下同

由表3可知:油酸与亚油酸、亚麻酸呈极显著负相关,相关性系数分别为 -0.838、-0.564,与顺11-二十碳烯酸呈显著正相关,相关性系数为 0.370,与郑悦雯^[26]、耿树香^[27]等的研究结果基本相同;亚油酸与棕榈酸呈显著负相关,相关性系数为 -0.387,与俞春莲等^[28]的研究结果一致,与耿树香等^[27]的研究结果相反,这可能与树种、产地环境等有关^[29];棕榈酸与棕榈烯酸呈显著正相关,相关性系数为 0.370,与硬脂酸和顺11-二十碳烯酸分别

呈显著负相关和极显著负相关,相关性系数分别为 -0.455、-0.511;棕榈烯酸与硬脂酸呈极显著负相关,相关性系数为 -0.521;硬脂酸与花生酸呈显著正相关,相关性系数为 0.394。综合脂肪酸种类信息与各组分相关性分析结果推测,SFA 与 UFA、MUFA 与 PUFA 存在转化竞争关系。

核桃表观性状与内在品质指标 Pearson 相关性分析见表4。

表4 表观性状与内在品质指标 Pearson 相关性分析

指标	可溶性糖	蛋白质	含油率	总酚	总黄酮	SFA	MUFA	PUFA	UFA
鲜果横径	-0.547 **	-0.395 *	0.483 **	0.603 **	0.766 **	0.494 **	0.161	-0.198	-0.175
鲜果纵径	-0.448 *	-0.200	0.343	0.424 *	0.623 **	0.547 **	0.187	-0.272	-0.368 *
鲜果侧径	-0.575 **	-0.448 *	0.522 **	0.550 **	0.713 **	0.506 **	0.131	-0.187	-0.241
鲜果质量	-0.439 *	-0.205	0.285	0.276	0.487 **	0.440 *	0.188	-0.249	-0.272
果型指数	-0.031	0.250	-0.086	-0.107	0.044	0.342	0.136	-0.265	-0.521 **
坚果横径	-0.227	-0.102	0.096	0.072	0.279	0.259	0.213	-0.258	-0.220

续表 4

指标	可溶性糖	蛋白质	含油率	总酚	总黄酮	SFA	MUFA	PUFA	UFA
坚果纵径	-0.275	-0.016	0.086	-0.051	0.071	0.220	0.235	-0.279	-0.222
坚果侧径	-0.392 *	-0.284	0.278	0.072	0.191	0.202	0.104	-0.13	-0.124
坚果质量	0.099	0.330	-0.322	-0.498 **	-0.214	0.023	0.229	-0.256	-0.156
核型指数	-0.214	0.042	0.054	-0.108	-0.088	0.119	0.163	-0.193	-0.148
出仁率	-0.634 **	-0.590 **	0.699 **	0.858 **	0.757 **	0.494 **	-0.064	-0.006	-0.254

由表 4 可知,内在品质指标主要与鲜果指标及出仁率表现出相关性,与坚果指标相关性较小。可溶性糖、蛋白质、含油率、总酚、总黄酮、SFA 均与鲜果横径、鲜果侧径、出仁率表现出明显的相关关系,其中蛋白质、可溶性糖与鲜果横径、鲜果侧径、出仁率呈显著或极显著负相关,含油率、总酚、总黄酮、SFA 与鲜果横径、鲜果侧径、出仁率呈极显著正相关。鲜果纵径与可溶性糖、UFA 呈显著负相关,与总酚、总黄酮、SFA 呈显著或极显著正相关。对表观性状与内在品质指标之间相关关系的研究表明,筛选出与主要内含物质相关的表观指标,可为后续机械化的识别提供理论依据。

2.4 主成分分析

对影响核桃品质的表观性状和内在品质指标进行主成分分析,得到主成分分析的特征值及贡献率,如表 5 所示。

表 5 主成分分析的特征值及贡献率

指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
特征值	6.335	6.096	2.768	2.137
方差贡献率/%	30.167	29.028	13.179	10.177
累积方差贡献率/%	30.167	59.195	72.374	82.551

由表 5 可知,4 个主成分特征值依次为 6.335、6.096、2.768、2.137,均大于 1,而累积方差贡献率为 82.551%,说明 4 个主成分能够较好反映和解释不同采收时间表观性状和内在品质指标的大部分信息。不同因子的载荷矩阵如表 6 所示。

表 6 载荷矩阵

指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
鲜果质量	0.918	0.196	0.285	-0.054
坚果横径	0.901	0.016	0.089	-0.104
坚果侧径	0.860	0.097	-0.150	-0.061
坚果纵径	0.854	-0.105	0.071	-0.137
坚果质量	0.787	-0.056	-0.050	-0.132
鲜果纵径	0.779	0.284	0.485	-0.042
鲜果侧径	0.758	0.504	0.319	-0.022
核仁质量	0.723	0.493	0.394	0.051
鲜果横径	0.706	0.537	0.335	-0.036
含水率	0.218	-0.889	0.067	-0.176
总酚	0.035	0.853	0.317	0.130
含油率	0.149	0.848	0.050	0.065

续表 6

指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
蛋白质	-0.036	-0.829	0.169	0.165
出仁率	0.257	0.796	0.434	0.112
可溶性糖	-0.284	-0.748	0.071	0.126
总黄酮	0.263	0.684	0.395	0.163
UFA	-0.125	0.150	-0.816	0.099
SFA	0.206	0.251	0.767	-0.083
油酸	0.118	-0.034	0.074	-0.971
亚油酸	-0.880	-0.140	-0.482	0.784
亚麻酸	-0.148	0.411	0.257	0.608

由表 6 可知:核桃产量指标鲜果质量、坚果质量、鲜果三径、坚果三径、核仁质量在第 1 主成分上载荷值均大于 0.5,可有效反映主成分 1 的内容;营养物质指标(含油率、可溶性糖、蛋白质)、活性成分(总酚、总黄酮)以及含水率、出仁率在第 2 主成分上载荷值绝对值均大于 0.5,可有效反映主成分 2 的内容;SFA、UFA 在第 3 主成分上载荷值绝对值均大于 0.5,可有效反映主成分 3 的内容;主要脂肪酸油酸、亚油酸、亚麻酸在第 4 主成分上载荷值绝对值均大于 0.5,可有效反映主成分 4 的内容。

基于特征值、因子载荷矩阵、方差贡献率对不同采收时间的核桃进行综合评价,计算出综合得分,并对其进行排名,结果如表 7 所示。

表 7 不同采收日期经济性性状综合得分及排名

采收时间	综合得分	排名
8月6日	-1.12	6
8月13日	-2.04	10
8月18日	-1.35	8
8月23日	-1.55	9
8月30日	-1.20	7
9月6日	1.06	4
9月10日	0.58	5
9月13日	1.29	3
9月17日	2.12	2
9月21日	2.22	1

由表 7 可知:9 月 21 日的综合得分最高,为 2.22;其次为 9 月 17 日,综合得分为 2.12,与 9 月 21 日差异较小;9 月 13 日的综合得分为 1.29,排名第 3,但与前两名综合得分差异较大;9 月 10 日综合得分明显低于 9 月 6 日及 9 月 13 日的。综合不同采收时间的综合得分,陕西黄龙‘香玲’核桃适宜在 9 月 17 日之后

采收,与巩芳娥^[7]、虎云青^[11]等对陇南‘香玲’核桃适宜采收期在9月初的研究结果相比较晚,主要可能是由于产地环境不同,并且最适采收期的判断标准也有差异,另外黄龙县发生的倒春寒也可能是采收期较晚的原因。对黄龙‘香玲’核桃花期观测显示其盛花期在5月4日到5月8日,结合主成分分析结果,认为其在盛花期130~135 d后适宜采收。

3 结论

随着采收时间的推迟,黄龙‘香玲’核桃大小基本无明显变化;核桃青皮颜色从青绿色向黄绿色转变,核仁颜色从亮白色向乳黄色转变;出仁率与核仁质量持续上升后保持稳定,适当推迟采收时间可提高‘香玲’核桃产量。

随采收时间推迟核仁蛋白质含量表现出先下降后稳定在20%左右,可溶性糖含量波动下降,含油率总体呈上升趋势,但采收过迟会导致含油率下降。内种皮总酚与总黄酮变化趋势一致,均随采收时间的推迟含量增加。核桃油不饱和脂肪酸含量高达90%以上,脂肪酸组分之间存在转化竞争关系。核桃内含物主要与鲜果大小及出仁率相关,与坚果性状无明显关系。

对‘香玲’核桃主要经济性状进行主成分分析并对其综合品质进行排序,可知黄龙‘香玲’核桃在9月17日左右采收合适,此时‘香玲’核桃综合品质较佳。

参考文献:

[1] SUDDICK E C, SIX J. An estimation of annual nitrous oxide emissions and soil quality following the amendment of high temperature walnut shell biochar and compost to a small scale vegetable crop rotation[J]. *Sci Total Environ*, 2013, 465: 298–307.

[2] 马庆国,乐佳兴,宋晓波,等. 新中国果树科学研究70年:核桃[J]. *果树学报*, 2019, 36(10): 1360–1368.

[3] 刘海英,王华华,崔长海,等. 可溶性糖含量测定(蒽酮法)实验的改进[J]. *实验室科学*, 2013, 16(2): 19–20.

[4] 王长雷,张文娥,潘学军. 核桃雄花中总多酚提取工艺的研究[J]. *食品工业*, 2015, 36(1): 77–81.

[5] CONDE – HERNANDEZ L A, GUERRERO – BELTRAN J A. Total phenolics and antioxidant activity of *Piper auritum* and *Porophyllum ruderale* [J]. *Food Chem*, 2014, 142(1): 455–460.

[6] 聂继云,吕德国,李静,等. 分光光度法测定苹果果实总黄酮含量的条件优化[J]. *果树学报*, 2010, 27(3): 466–470.

[7] 巩芳娥,虎云青,高瑞琴,等. 甘肃陇南‘香玲’核桃成熟过程中表型特征、脂肪酸组成与含量的变化[J]. *中国油脂*, 2021, 46(3): 34–38.

[8] 武静. 核桃采收期对坚果品质影响的研究[J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2018, 38(12): 50–54.

[9] 史文君,魏海斌,刘小利,等. 青海高原核桃果实油脂和生长动态变化分析[J]. *北方园艺*, 2022(3): 34–40.

[10] 高瑞琴,虎云青,杨永兴,等. 采摘期对陇南核桃‘晋龙2号’理化特征的影响[J]. *中国油脂*, 2023, 48(7): 129–133.

[11] 虎云青,张进德,张正武. 陇南白龙江沿岸香玲、清香、强特勒核桃最适采果期研究[J]. *林业实用技术*, 2011(12): 13–14.

[12] 张志华,高仪,王文江,等. 核桃果实成熟期间主要营养成分的变化[J]. *园艺学报*, 2001(6): 509–511.

[13] 陈利英,马华冰,强静莎. 早熟核桃不同采收期果实品质变化动态研究[J]. *河北果树*, 2020(4): 13–15.

[14] 李永涛. 核桃(*Juglans regia*)胚发育及其营养代谢动态研究[D]. 山东泰安:山东农业大学, 2011.

[15] 张翠芳,潘存德,陈虹,等. 不同含油率核桃品种种仁主要营养物质含量和糖代谢相关酶活性时节动态[J]. *新疆农业科学*, 2017, 54(4): 589–596.

[16] 陈虹,潘存德,王蓓,等. 核桃种子发育主要营养物质积累之间的关系及脂肪酸动态变化[J]. *河北农业大学学报*, 2016, 39(1): 57–62.

[17] 郝艳宾,王克建,王淑兰,等. 几种早熟核桃坚果中蛋白质、脂肪酸组成成分分析[J]. *食品科学*, 2002(10): 123–125.

[18] 虎海防. 不同主栽区核桃坚果品质研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2013.

[19] 朱振宝,刘梦颖,易建华,等. 不同产地核桃油理化性质、脂肪酸组成及氧化稳定性比较研究[J]. *中国油脂*, 2015, 40(3): 87–90.

[20] 黄瑞敏,潘刚,周晔,等. 西藏核桃引种到内地后坚果品质变化研究[J]. *中国油脂*, 2019, 44(5): 144–148.

[21] LI Q, YIN R, ZHAN Q R, et al. Chemometrics analysis on the content of fatty acid compositions in different walnut (*Juglans regia* L.) varieties[J]. *Eur Food Res Technol*, 2017, 243(12): 2235–2242.

[22] 史斌斌. 铁核桃多酚类物质含量与抗氧化活性、代谢相关酶活性的关系[D]. 贵阳:贵州大学, 2017.

[23] 王勇,吴国良,徐彦岗,等. 核桃果实中酚类物质含量变化研究[J]. *中国农学通报*, 2004, 20(6): 234–239.

[24] 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]. 杭州:浙江农林大学, 2017.

[25] BECKMAN C H. Phenolic – storing cells: keys to programmed cell death and periderm formation in wilt disease resistance and in general defence responses in plants[J]. *Physiol Mol Plant Pathol*, 2000, 57(3): 101–110.

[26] 郑悦雯. 核桃营养和感官品质关联分析及其储藏变化动态[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2020.

[27] 耿树香,宁德鲁,韩明珠,等. 云南核桃主要栽培品种蛋白质及脂肪酸综合评价分析[J]. *中国油脂*, 2019, 44(10): 116–120.

[28] 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.

[29] 李国和,杨冬生,胡庭兴. 四川省不同产地核桃脂肪酸含量的变化[J]. *林业科学*, 2007(5): 36–41.