

3个杂交油橄榄品种果实发育过程中表型性状、含油率及油质的变化

马婷^{1,2}, 宁德鲁^{1,2}, 李勇杰^{1,2}, 耿树香^{1,2}, 张艳丽^{1,2}

(1. 云南省林业和草原科学院经济林木研究所, 昆明 650201; 2. 高原木本油料种质创新与利用技术国家地方联合工程研究中心, 昆明 650201)

摘要:为明确杂交油橄榄品种最佳采收期,以云杂1号、云杂2号和云杂3号为研究对象,于2018年6—10月期间观测果实表型性状、含油率及油质的变化,并采用主成分分析进行综合评价。结果表明:随着时间推移,3个品种横径、纵径、单果质量、果肉率、成熟度指数、含油率、亚油酸含量总体呈上升趋势,果形指数、含水量、油酸和亚麻酸含量变化趋势与之相反。不同采收时间各指标差异明显,9月末到10月末,3个品种果实生长趋于稳定,成熟度指数为4.56~5.52,果形指数在1.4左右,单果质量为1.25~1.41 g,果肉率为68.82%~71.94%,鲜果含水量为50.01%~51.53%、含油率为16.10%~21.61%。从油质看,脂肪酸组成主要为油酸、亚油酸、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸和十六碳烯酸,占总量的98%以上,其中不饱和脂肪酸含量占82%以上。主成分综合评价结果显示,云杂1号最佳采收时间为9月末,云杂2号和云杂3号在10月末采收较为适宜。在最佳采收期综合性状最好的品种依次为云杂2号、云杂3号和云杂1号。

关键词:杂交油橄榄;采收时间;表型性状;含油率;脂肪酸

中图分类号:S565.7;S794.4 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)05-0065-08

Changes of phenotypic characters, oil content and oil quality of three hybrid olive varieties during fruit development

MA Ting^{1,2}, NING Delu^{1,2}, LI Yongjie^{1,2}, GENG Shuxiang^{1,2}, ZHANG Yanli^{1,2}

(1. Institute of Economic Forestry, Yunnan Academy of Forestry and Grassland, Kunming 650201, China;

2. National & Local Joint Engineering Research Center of Germplasm Innovation and Utilization of Woody Oil, Kunming 650201, China)

Abstract: In order to determine the best harvest time of hybrid olive varieties, three olive hybrid varieties Yunza No. 1, Yunza No. 2 and Yunza No. 3 were observed based on fruit phenotype characters, oil content and oil quality from June to October in 2018, and the principal component analysis was used for comprehensive evaluation. The results showed that with the delay of harvest time, the transverse diameter, longitudinal diameter, single fruit weight, pulp rate, maturity index, oil content and linoleic acid content of the three varieties showed an upward trend, while the change trends of fruit shape index, water content, oleic acid and linolenic acid content were opposite. There were significant differences in various indexes at different harvest time. From the end of September to the end of October, the fruit growth of the three varieties tended to be stable, the maturity index was 4.56–5.52, the fruit shape

收稿日期:2021-09-13;修回日期:2022-01-24

基金项目:云南省科技惠民项目(2017RA012);云南省“两类”人才培养项目(202005AD160018)

作者简介:马婷(1983),女,副研究员,研究方向为经济林木良种选育及栽培(E-mail)blueair-01@163.com。

通信作者:张艳丽,副研究员(E-mail)zhangyanli25@126.com。

index was about 1.4, the single fruit weight was 1.25–1.41 g, the pulp rate was 68.82%–71.94%, the water content of fresh fruit was 50.01%–51.53%, and the oil content of fresh fruit was 16.10%–21.61%. In terms of oil quality, the main fatty acid were oleic acid,

linoleic acid, palmitic acid, stearic acid, linolenic acid and hexadecenoic acid, accounting for more than 98% of the total fatty acids, of which the unsaturated fatty acids content accounted for more than 82%. The principal component analysis showed that the best harvest time of Yunza No. 1 was the end of September, and Yunza No. 2 and Yunza No. 3 were more suitable to harvest at the end of October. The overall performance at the best harvest time decreased in the order: Yunza No. 2, Yunza No. 3 and Yunza No. 1.

Key words: hybrid olive; harvest time; phenotypic character; oil content; fatty acid

油橄榄 (*Olea europaea* L.) 为木犀科 (Oleaceae) 木犀榄属 (*Olea*) 小乔木, 与油茶、油棕、椰子并称为世界四大木本油料植物^[1-2]。橄榄油是以油橄榄鲜果为原料, 采用冷榨工艺提取的产品, 其不经加热和化学处理, 保留了天然营养成分^[3]。橄榄油中富含多酚、黄酮、维生素、角鲨烯及不饱和脂肪酸, 具有调节胆固醇、抗氧化、预防癌症、美容及调整人体生理机能的作用, 享有“液体黄金”“植物油皇后”等美誉^[4]。

我国自 1964 年开始引种油橄榄, 现已发展到 12 个省市 37 个地州 67 个市县, 总种植面积达 8 万 hm^2 , 成为适生区的新型特色产业。但目前我国橄榄油产量仅为消费总量的 10% 左右, 自主产能远远不足^[5]。同时, 油橄榄原产于地中海冬春多雨、夏季高温干燥区域, 喜中性偏碱土壤, 而我国油橄榄引种区冬春干旱、夏季高温多雨, 且多为酸性红壤, 引进油橄榄品种适应性、稳定性和丰产性均存在一定问题^[6]。因此, 培育新品种以增强适应性, 是我国橄榄油产业发展的一项重要措施^[7-8]。云南省林业科学院自 20 世纪 70 年代开展乡土近缘种与油橄榄品种的杂交育种工作, 选育出云杂 1 号、云杂 2 号和云杂 3 号 3 个杂交品种, 其中云杂 3 号被定名为金叶佛手, 并于 2014 年获园艺植物新品种注册登记^[9-10]。

油橄榄果实成熟期因品种和气候条件而不同, 采收时间的确定主要根据果实的成熟度。国内外已有较多关于油橄榄果实成熟度与果实表型性状、含油率及油质的相关研究, 并在各种植区形成适宜的采收时间^[11-12], 但目前尚缺乏对自主杂交品种的相关研究。本文以云南省林业和草原科学院杂交选育的云杂 1 号、云杂 2 号和云杂 3 号 3 个品种为研究对象, 通过不同采收时间分析不同品种油橄榄果实表型性状、含油率以及油质的变化, 为明确杂交品种の利用方向以及确定最佳采收期提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

油橄榄果实: 供试样品在 2018 年 6 月初采集 1

次, 7—9 月期间每半月采集 1 次, 10 月末采集 1 次, 地点位于云南省楚雄州永仁县糯达油橄榄种质资源圃 (北纬 $26^{\circ}2'26''$, 东经 $101^{\circ}38'50''$), 品种为云南省林业和草原科学院杂交选育的云杂 1 号、云杂 2 号和云杂 3 号, 采样树均生长良好、无病虫害, 果实样品选取树冠中上部东、南、西、北 4 个方向生长正常的果实, 采摘后混合。

石油醚、三氯甲烷、冰乙酸、甲醇、碘化钾、氢氧化钠、硫代硫酸钠、无水硫酸钠、95% 乙醇、可溶性淀粉, 均为分析纯。

游标卡尺; HX2002Z 电子天平; GZX-9240MBE 电热鼓风干燥箱; HHS 电热恒温水浴锅, 上海博迅公司; 7890B5977A 气相色谱-质谱联用仪, 安捷伦公司; FOSS Soxtec 2008 全自动脂肪测定仪 (丹麦); ABENCOR 橄榄分析系统, 西班牙 MC2 Ingenieria 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 果实表型性状测定

对不同时间采集的果实样品, 根据品种随机取 10 颗, 使用游标卡尺分别测量纵、横径, 采用电子天平称取单果质量及果核质量, 计算果形指数 (果实纵径与果实横径的比值) 和果肉率 (单果质量与果核质量的差占单果质量的百分比)。

1.2.2 果实成熟度指数测定

从果实样品中随机抽取 100 颗, 根据油橄榄果实成熟时果皮和果肉的顏色变化, 将油橄榄成熟度划分为 8 个类别 (0, 果皮呈深绿色; 1, 果皮呈黄绿色; 2, 不到 1/2 的果皮转为红色; 3, 超过 1/2 的果皮转为红色; 4, 果皮转为黑色, 但果肉为白色; 5, 不到 1/2 的果肉转为红色; 6, 超过 1/2 的果肉转为红色; 7, 果肉全部转为红色)^[13]。按照不同类别果实数量, 计算果实成熟度指数 (果实成熟度指数 = $\sum (\text{成熟度类别} \times \text{果实个数}) / 100$)。

1.2.3 果实含水量测定

采用烘干称重法。将 200 g 左右油橄榄鲜果实置于 75 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘干至恒重, 根据果实烘干前后的质量差, 计算果实含水量, 每个样品重复 3 次。

1.2.4 果实含油率测定

根据张东等^[14]的方法测定干基含油率并换算为鲜果含油率。

1.2.5 橄榄油提取

准确称取 800 g 油橄榄果实,放入粉碎机中进行粉碎,粉碎完成后将果肉和果核完全混合均匀。称取 700 g 混合物于融合罐中,放入融合搅拌器在 25 ℃ 水浴条件下融合 20 min,加入 300 mL 沸水继续融合 10 min。将融合后的混合物于 3 000 r/min 下离心 60 s,移取分离的油相和水相于 500 mL 量筒中,再加入 100 mL 沸水冲洗离心后的混合物,然后重复离心步骤,收集离心后的油相和水相于上述量筒中,静置 30 min,移取油相于收集瓶中,密封并低温保存。

1.2.6 橄榄油酸值和过氧化值测定

分别参照 GB 5009.229—2016、GB 5009.227—

2016 测定橄榄油酸值及过氧化值,每个样品重复测定 3 次。

1.2.7 橄榄油脂肪酸组成与含量分析

参考文献^[15]的方法对橄榄油进行甲酯化后采用 GC-MS 分析脂肪酸组成,按峰面积归一化法定量。测定 2 个平行样并取其平均值。

1.2.8 数据处理与分析

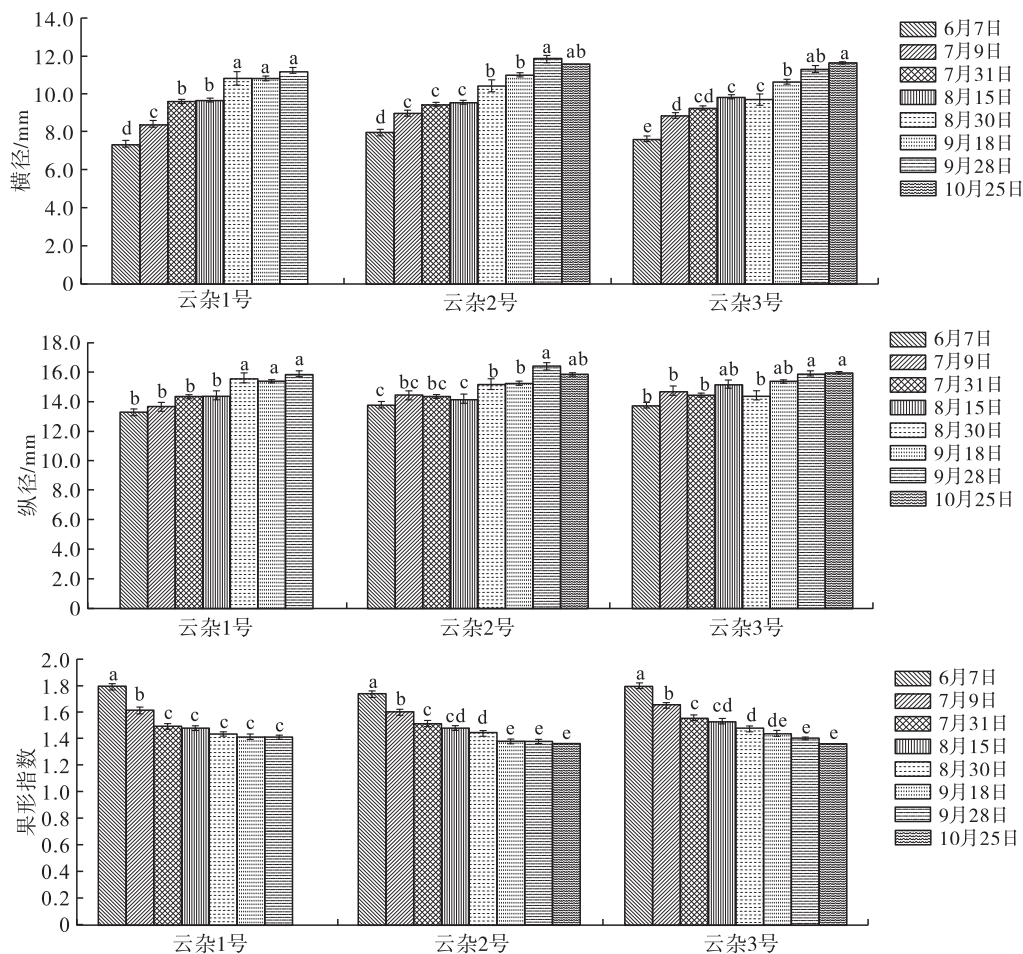
试验数据采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 24.0 软件进行统计和分析。

2 结果与分析

2.1 不同采收时间 3 个杂交油橄榄品种果实表型性状的变化

2.1.1 果实大小

不同油橄榄品种果实横径、纵径及果形指数的变化见图 1。



注:云杂1号9月末果实已经成熟并开始掉落,至10月已无果可采;同一品种不同字母表示存在显著差异($P < 0.05$)。下同

图1 不同油橄榄品种果实横径、纵径及果形指数的变化

从图1可以看出,3个品种横径、纵径及果形指数变化趋势基本一致,但不同品种之间因成熟期不一致有所差异。从横径来看,云杂1号在6月初到8月末生长较快,之后生长趋于平缓;云杂2号和云杂3号前期生长较快,9月中旬后生长开始逐渐放

缓。3个品种纵径在整个观测期内生长均较为缓慢,云杂1号、云杂2号和云杂3号分别从8月末、9月末和9月中旬起纵径生长稳定、差异不显著。云杂1号横、纵径在9月末达最大值,分别为 11.25 mm 和 15.94 mm,9月末果实开始掉落至10月已无果可采;

云杂2号在9月末横、纵径达最大值,分别为11.89 mm和16.49 mm,至10月末时横、纵径有一定程度缩小;云杂3号在10月末横、纵径达到最大值,分别为11.71 mm和16.00 mm。横、纵径总体呈快-慢-稳定的变化趋势,与杨丛华等^[16]对豆果和柯基两个油橄榄品种的研究结果吻合。3个品种果形指数的变化趋势与横、纵径相反,呈逐步下降的趋势,6月初果形指数最大,在1.74~1.80之间,到8月末至9月初后果形趋于平稳,果形指数在1.4左右,为长圆形果实。

2.1.2 单果质量及果肉率

不同油橄榄品种果实单果质量及果肉率的变化

表1 不同油橄榄品种果实单果质量及果肉率的变化

采收时间	云杂1号		云杂2号		云杂3号	
	单果质量/g	果肉率/%	单果质量/g	果肉率/%	单果质量/g	果肉率/%
7月9日	0.63 ± 0.06d	46.43 ± 7.28d	0.75 ± 0.04e	48.28 ± 5.12e	0.76 ± 0.05f	45.60 ± 3.14e
7月31日	0.88 ± 0.03c	53.03 ± 5.48c	0.87 ± 0.06d	54.16 ± 3.38d	0.86 ± 0.06e	52.46 ± 3.67d
8月15日	0.89 ± 0.04c	57.12 ± 3.84c	0.90 ± 0.05d	59.48 ± 3.35c	1.08 ± 0.09c	51.74 ± 4.96d
8月30日	1.17 ± 0.07b	63.42 ± 5.24b	1.12 ± 0.07c	60.40 ± 1.66c	0.94 ± 0.07d	56.97 ± 1.64c
9月18日	1.25 ± 0.10a	64.12 ± 4.31b	1.20 ± 0.06b	66.87 ± 1.59b	1.13 ± 0.08c	66.29 ± 2.52b
9月28日	1.16 ± 0.05b	68.82 ± 2.96a	1.41 ± 0.07a	69.95 ± 2.38a	1.26 ± 0.06b	68.80 ± 2.45b
10月25日			1.39 ± 0.06a	71.92 ± 2.28a	1.41 ± 0.08a	71.94 ± 2.37a

注:同列不同字母表示存在显著差异($P < 0.05$)。下同

2.2 不同采收时间3个杂交油橄榄品种果实成熟度指数的变化

在6月初到7月初3个品种果实成熟度为0,故测定了从7月31日果实开始转色起的成熟度指数情况,结果见表2。由表2可以看出,7月31日云杂1号成熟度指数为0,而云杂2号和云杂3号有少部分果皮开始转色,成熟度指数分别为0.15和0.18。随着时间的推移,成熟度指数逐步升高,云杂1号于9月末达最大值5.52,云杂2号和云杂3号则在10月末达最大值,分别为5.40和4.56。

表2 不同油橄榄品种果实成熟度指数的变化

采收时间	云杂1号	云杂2号	云杂3号
7月31日	0.00	0.15	0.18
8月15日	1.01	1.01	1.05
8月30日	2.59	1.30	1.07
9月18日	4.64	1.88	2.95
9月28日	5.52	2.91	2.99
10月25日		5.40	4.56

2.3 不同采收时间3个杂交油橄榄品种果实含水量及含油率的变化

3个油橄榄品种鲜果含水量及含油率的变化见图2。

见表1。从表1可以看出:3个品种单果质量随着采收时间的延迟上升,云杂1号和云杂2号分别于9月中旬和9月末到达最高点后有一定程度缩小;云杂1号、云杂2号和云杂3号分别在9月中旬、9月末和10月末达到单果质量的最大值,分别为1.25、1.41 g和1.41 g,均属于小果形品种。果肉率与单果质量相似,总体随采收时间的延长呈上升趋势,云杂1号、云杂2号和云杂3号的果肉率最大值分别出现在9月末、10月末和10月末,分别为68.82%、71.92%和71.94%。

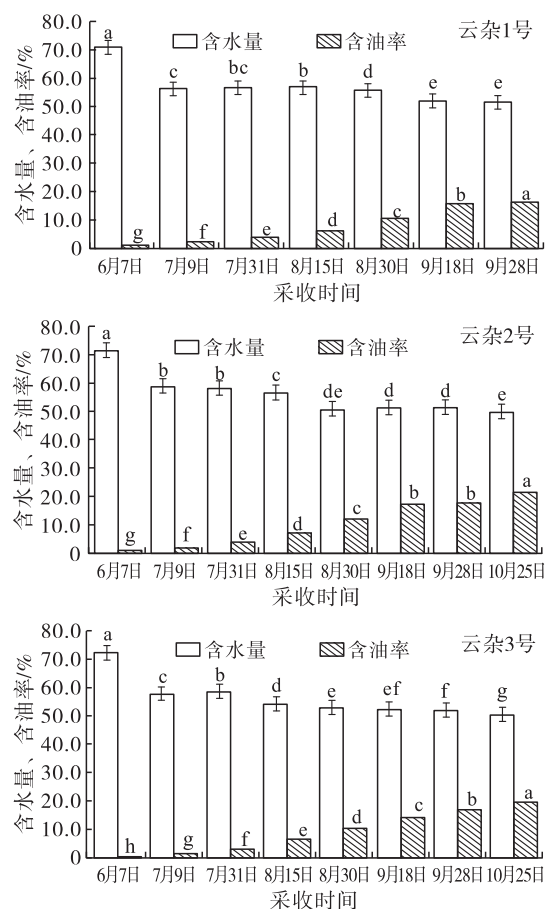


图2 不同油橄榄品种鲜果含水量及含油率的变化

由图2可以看出,3个品种鲜果含水量及含油率的变化趋势基本一致,随着果实的不断成熟,含水量逐步下降而含油率逐渐上升。不同采收时间鲜果含水量以6月初和7月初差异最为显著,1个月间含水量差值在12.76%~14.49%之间;在鲜果含油率方面,除云杂2号在9月18日和9月28日采收含油率差异不显著外,3个品种在其余采收时间均有显著差异,与Piravi-Vanak等^[17]的研究结果一致。至9月末,云杂1号含水量达最小值51.53%,含油率达最大值16.10%;至10月末,云杂2号、云杂3号含水量分别达最小值50.01%和50.76%,含油率分别达最大值21.61%和19.97%。其中,云杂2号和云杂3号鲜果含油率在18%以上,已达到林木品种审(认)定中对油用品种的指标要求,可作为油用品种发展。

表3 不同品种橄榄油酸值及过氧化值的变化

采收时间	云杂1号		云杂2号		云杂3号	
	酸值(KOH)/ (mg/g)	过氧化值/ (mmol/kg)	酸值(KOH)/ (mg/g)	过氧化值/ (mmol/kg)	酸值(KOH)/ (mg/g)	过氧化值/ (mmol/kg)
8月15日	0.11±0.01c	3.95±0.05d	0.24±0.01a	5.25±0.15d	0.23±0.02b	7.89±0.01b
8月30日	0.13±0.01b	5.93±0.06c	0.26±0.01a	8.58±0.04a	0.29±0.02a	6.38±0.17d
9月18日	0.22±0.02a	6.75±0.25b	0.23±0.02a	6.53±0.09c	0.22±0.01b	6.10±0.10e
9月28日	0.24±0.02a	7.51±0.19a	0.16±0.03b	8.17±0.16b	0.20±0.02b	7.48±0.03c
10月25日			0.26±0.02a	8.51±0.09a	0.32±0.01a	8.37±0.03a

2.4.2 脂肪酸组成

不同品种橄榄油主要脂肪酸组成的变化及变异系数分别见表4和表5。由表4可以看出,云杂1号、云杂2号和云杂3号橄榄油中脂肪酸组成基本一致,主要为油酸、亚油酸、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸和十六碳烯酸,占总量的98%以上,与闫辉强^[18]、赵梦炯^[19]等的研究结果基本一致。橄榄油作为高油酸型的植物油在3个品种中也得到充分体现,云杂1号、云杂2号和云杂3号的平均油酸含量分别为65.64%、69.34%和70.41%;亚油酸作为植物油中最丰富的多不饱和脂肪酸,是人体所需的必需脂肪酸^[20-21],在3个品种橄榄油中平均含量分别为15.32%、12.91%和11.98%;棕榈酸在3个品种橄榄油中平均含量分别为14.09%、13.22%和13.03%,硬脂酸平均含量在2.03%~2.12%之间,十六碳烯酸平均含量在0.55%~1.06%之间,亚麻酸平均含量在0.73%~0.76%之间。从油酸含量的变化来看,云杂1号在8月中旬油酸含量最高,随着采收时间的推后逐渐下降;而云杂2号和云杂3号表现出相同的趋势,即在8月中旬至8月末小幅度升高之

2.4 不同采收时间3个杂交油橄榄品种油质的变化

2.4.1 酸值和过氧化值

从8月中旬果实明显开始转色起,对不同时间采收的油橄榄果实提油后分析橄榄油的酸值和过氧化值,结果见表3。由表3可以看出:从8月中旬到10月末,3个品种橄榄油的酸值(KOH)随采收时间浮动变化,但均在最终采收时间达到最大值,观测期内3个品种橄榄油的最大酸值(KOH)在0.24~0.32 mg/g之间;过氧化值则随着采收时间的变化,总体有一定的升高,且不同采收时间整体差异显著。总体而言,在不同的采收时间3个品种橄榄油的酸值(KOH)均小于1.6 mg/g,过氧化值均小于10 mmol/kg,符合GB/T 23347—2009《橄榄油、油橄榄果渣油》中特级初榨橄榄油的质量指标。

后随着采收时间的推后逐步下降。亚油酸含量的变化趋势则总体上随着采收时间的推后逐渐上升。棕榈酸含量在整个过程中变化不明显,总体上为小幅波动性变化。亚麻酸含量总体呈下降趋势,而硬脂酸和十六碳烯酸含量则处于波动性变化。

从表4和表5可以看出,3个品种橄榄油中平均SFA含量在15.14%~16.11%之间,不同采收时间其变异系数范围为0.61%~2.40%,说明SFA含量相对稳定。MUFA和PUFA总含量在82%以上,其中MUFA包括油酸和十六碳烯酸,总体随采收时间的推后呈逐步下降的趋势,不同采收时间变异系数在2.38%~3.47%之间,含量相对稳定;PUFA包括亚麻酸和亚油酸,3个品种随采收时间的推后其含量总体上升,变异系数在13.68%~15.10%之间,说明随采收时间变化较大。不同采收时间油酸/亚油酸及MUFA/PUFA变异系数较大,分别在17.84%~24.42%和15.89%~21.51%之间,随着采收时间的推后总体呈下降趋势,这一结果与杨倩雨^[22]、Yorulmaz^[23]等的分析结果相一致。

表4 不同品种橄榄油主要脂肪酸组成的变化

品种	采收时间	含量/%									油酸/亚	MUFA/
		棕榈酸	十六碳烯酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	SFA	MUFA	PUFA	油酸	PUFA
云杂1号	8月15日	13.85	0.72	2.30	69.80	11.05	1.02	16.15	70.52	12.07	6.32	5.84
	8月30日	14.31	1.18	1.94	65.38	15.54	0.70	16.25	66.56	16.24	4.21	4.10
	9月18日	14.08	1.16	1.96	63.83	17.40	0.66	16.04	64.99	18.06	3.67	3.60
	9月28日	14.10	1.18	1.90	63.55	17.30	0.67	16.00	64.73	17.97	3.67	3.60
	平均值	14.09	1.06	2.03	65.64	15.32	0.76	16.11	66.70	16.09	4.47	4.29
	标准差	0.16	0.20	0.16	2.50	2.58	0.15	0.10	2.31	2.43	1.09	0.92
云杂2号	8月15日	13.64	0.65	2.26	70.68	10.36	0.97	15.90	71.33	11.33	6.82	6.30
	8月30日	13.07	0.60	2.11	71.66	10.66	0.73	15.18	72.26	11.39	6.72	6.34
	9月18日	12.84	0.53	1.96	69.15	13.75	0.69	14.80	69.68	14.44	5.03	4.83
	9月28日	13.39	0.51	2.03	68.67	13.67	0.63	15.42	69.18	14.30	5.02	4.84
	10月25日	13.16	0.53	1.95	66.56	16.12	0.61	15.11	67.09	16.73	4.13	4.01
	平均值	13.22	0.56	2.06	69.34	12.91	0.73	15.28	69.91	13.64	5.55	5.26
标准差	0.27	0.05	0.11	1.75	2.15	0.13	0.37	1.79	2.05	1.05	0.91	
云杂3号	8月15日	12.95	0.55	2.32	72.14	9.84	0.96	15.27	72.69	10.80	7.33	6.73
	8月30日	12.63	0.57	2.26	72.46	10.01	0.82	14.89	73.03	10.83	7.24	6.74
	9月18日	13.15	0.51	2.09	70.23	12.11	0.74	15.24	70.74	12.85	5.80	5.51
	9月28日	13.31	0.55	2.02	69.16	13.24	0.61	15.33	69.71	13.85	5.22	5.03
	10月25日	13.10	0.55	1.89	68.08	14.70	0.59	14.99	68.63	15.29	4.63	4.49
	平均值	13.03	0.55	2.12	70.41	11.98	0.74	15.14	70.96	12.72	6.04	5.70
标准差	0.23	0.02	0.16	1.69	1.87	0.14	0.17	1.69	1.74	1.08	0.91	

注:SFA为饱和脂肪酸,MUFA为单不饱和脂肪酸,PUFA为多不饱和脂肪酸。下同

表5 不同采收时间3个品种橄榄油主要脂肪酸组成的变异系数

品种	棕榈酸	十六碳烯酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	SFA	MUFA	PUFA	油酸/亚油酸	MUFA/PUFA
云杂1号	1.16	18.53	7.91	3.81	16.81	19.59	0.61	3.47	15.10	24.42	21.51
云杂2号	2.07	9.36	5.55	2.53	16.67	17.80	2.40	2.57	15.04	19.02	17.37
云杂3号	1.76	3.59	7.42	2.39	15.60	18.44	1.14	2.38	13.68	17.84	15.89

2.5 综合分析

采用3个油橄榄品种不同采收时间的果实各项

2.5.1 相关性分析

指标,计算皮尔逊相关系数,结果见表6。

表6 油橄榄果实各项指标相关系数

项目	横径	纵径	果形指数	单果质量	果肉率	成熟度指数	含水量	含油率	SFA含量	MUFA含量	PUFA含量
横径	1	0.948**	-0.899**	0.956**	0.924**	0.770**	-0.747**	0.917**	-0.206	-0.570*	0.668**
纵径		1	-0.715**	0.887**	0.788**	0.714**	-0.683**	0.791**	-0.141	-0.527	0.610*
果形指数			1	-0.886**	-0.950**	-0.718**	0.711**	-0.926**	0.231	0.553*	-0.653*
单果质量				1	0.865**	0.731**	-0.800**	0.929**	-0.331	-0.479	0.599*
果肉率					1	0.789**	-0.676**	0.923**	-0.174	-0.573*	0.657*
成熟度指数						1	-0.628*	0.786**	0.083	-0.820**	0.871**
含水量							1	-0.877**	0.600*	0.251	-0.394
含油率								1	-0.425	-0.471	0.600*
SFA含量									1	-0.528	0.375
MUFA含量										1	-0.985**
PUFA含量											1

注:*表示在0.05水平(双侧)上显著相关,**表示在0.01水平(双侧)上极显著相关。

由表6可以看出,大多数指标间均有较强的相关性。其中:横径与纵径、单果质量、果肉率、成熟度

指数、含油率和PUFA含量呈极显著正相关,与果形指数、含水量呈极显著负相关,与MUFA含量呈显

著负相关;纵径与单果质量、果肉率、成熟度指数、含油率呈极显著正相关,与果形指数、含水量呈极显著负相关,与 PUFA 含量呈显著正相关;果形指数与单果质量、果肉率、成熟度指数、含油率呈极显著负相关,与含水量呈极显著正相关,与 MUFA 含量和 PUFA 含量分别呈显著正相关和显著负相关;单果质量与果肉率、成熟度指数、含油率呈极显著正相关,与含水量呈极显著负相关,与 PUFA 含量呈显著正相关;果肉率与成熟度指数、含油率呈极显著正相关,与含水量呈极显著负相关,与 MUFA 含量和 PUFA 含量分别呈显著负相关和显著正相关;成熟度指数与含油率和 PUFA 含量呈极显著正相关,与 MUFA 含量呈极显著负相关,与含水量呈显著负相关;含水量与含油率呈极显著负相关,与 SFA 含量呈显著正相关;含油率与 PUFA 含量呈显著正相关;MUFA 含量与 PUFA 含量呈极显著负相关。

2.5.2 主成分分析

对影响油橄榄果实品质的果形指数、单果质量、果肉率、成熟度指数、含油率、油酸含量、MUFA 含量和 PUFA 含量 8 个指标进行主成分分析,得到主成分个数及贡献率如表 7 所示。由表 7 可见,第 1 主成分方差贡献率为 78.337%,第 2 主成分方差贡献率为 16.716%,前两个主成分累积方差贡献率达到 95.053%,说明这 2 个主成分能够代表 8 个指标的绝大部分信息,故提取前 2 个主成分进行综合分析。

表 7 主成分分析的特征值及贡献率

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	6.267	78.337	78.337
2	1.337	16.716	95.053

计算初始因子载荷矩阵,结果见表 8。由表 8 可知:在第 1 个主成分上,果肉率、成熟度指数和 PUFA 含量均有较高的载荷,主要体现果实品质及油中多不饱和脂肪酸情况;在第 2 主成分上油酸含量和 MUFA 含量有较高的载荷,主要体现果实的单不饱和脂肪酸组成。

表 8 初始因子载荷矩阵

指标	主成分 1	主成分 2
果形指数	-0.895	-0.361
单果质量	0.857	0.419
果肉率	0.908	0.328
成熟度指数	0.930	-0.138
含油率	0.879	0.442
油酸含量	-0.827	0.557
MUFA 含量	-0.856	0.512
PUFA 含量	0.923	-0.371

根据前 2 个主成分的特征值、贡献率及各指标的载荷因子,计算得到相应的特征向量,并得到 2 个主成分的表达式,以 2 个主成分所对应的特征值占提取主成分总特征值的比例为权重,计算得到主成分综合模型,根据主成分综合模型计算不同采收时间云杂 1 号、云杂 2 号和云杂 3 号的综合得分,结果见表 9。

表 9 不同油橄榄品种在不同采收时间的主成分综合得分

品种	8月 15日	8月 30日	9月 18日	9月 28日	10月 25日
云杂 1 号	-2.47	0.31	1.74	2.05	
云杂 2 号	-2.43	-1.45	0.63	1.48	2.92
云杂 3 号	-3.39	-2.32	-0.29	0.84	2.36

分值越高说明综合品质最佳,为最适宜的采收时间。由表 9 可见,3 个品种不同采收时间综合得分如下:云杂 1 号,综合得分由高到低的采收时间排序为 9 月 28 日 > 9 月 18 日 > 8 月 30 日 > 8 月 15 日;云杂 2 号和云杂 3 号,综合得分由高到低的采收时间排序均为 10 月 25 日 > 9 月 28 日 > 9 月 18 日 > 8 月 30 日 > 8 月 15 日。因此,云杂 1 号选择在 9 月末采收,云杂 2 号和云杂 3 号在 10 月末采收较为适宜。此外,各品种最佳采收期综合得分由高到低依次为云杂 2 号 > 云杂 3 号 > 云杂 1 号。

3 结论

从 6 月初至 10 月末,云杂 1 号、云杂 2 号和云杂 3 号果实不断成熟,横径、纵径、单果质量、果肉率、成熟度指数、含油率总体呈上升趋势,果形指数和含水量变化趋势与之相反。不同采收时间各指标差异显著,9 月末到 10 月末,3 个品种果实生长趋于稳定,成熟度指数为 4.56 ~ 5.52,果形指数在 1.4 左右,单果质量为 1.25 ~ 1.41 g,果肉率为 68.82% ~ 71.94%,鲜果含水量为 50.01% ~ 51.53%、含油率 16.10% ~ 21.61% (上述指标均为 3 个品种在采收期的最大值)。且整个观测期内 3 个品种的酸值和过氧化值均符合特级初榨橄榄油的标准。从油质来看,3 个品种脂肪酸组成中油酸、亚油酸、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸和十六碳烯酸占总量的 98% 以上,其中不饱和脂肪酸含量占 82% 以上。含油率作为评价橄榄油质量最重要的指标,与横径、纵径、单果质量、果肉率、成熟度指数呈极显著正相关,与果形指数及含水量呈极显著负相关,与 PUFA 含量呈显著正相关。

对油橄榄果实的 8 个指标进行主成分分析并根据综合得分排序,得出:云杂 1 号最佳采收时间为 9 月末,云杂 2 号、云杂 3 号在 10 月末采收较为适宜。

综合分析分值由高到低依次为云杂 2 号 > 云杂 3 号 > 云杂 1 号,其中云杂 2 号和云杂 3 号含油率均大于 18%,可作为优良油用品种发展。

参考文献:

- [1] 宁德鲁,杨卫明. 油橄榄良种选育与栽培[M]. 昆明:云南科技出版社,2013.
- [2] 邓明全,俞宁. 油橄榄引种栽培技术[M]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [3] 金英姿,葛亮. 橄榄油的营养成分及其保健功能[J]. 农产品加工:学刊,2012(6):94-96.
- [4] 马君义,后春静,吕孝飞,等. 陇南油橄榄“皮瓜尔”果实活性成分动态变化[J]. 中国粮油学报,2020,35(3):102-109.
- [5] 邓煜. 中国油橄榄产业创新驱动发展的现状、趋势和对策[J]. 经济林研究,2018,36(2):117.
- [6] 朱申龙,傅庆林. 浙江省油橄榄产业现状与发展对策[J]. 浙江农业科学,2016,57(9):1361-1364.
- [7] 叶孝仪,杨卫明,张植中. 尖叶木樨榄嫁接油橄榄的效果调查[J]. 林业科技通讯,1981(3):12-15.
- [8] 国营元江红光林场. 尖叶榄嫁接油橄榄[J]. 林业科技通讯,1973(3):10-11.
- [9] 马婷,宁德鲁,杨卫明,等. 油橄榄新品种金叶佛樨榄的选育[J]. 中国果树,2014(6):3-4.
- [10] 马婷,徐田,宁德鲁,等. 油橄榄新品种“金叶佛樨榄”与其父母本生长与形态的比较研究[J]. 南方园艺,2015,26(4):1-3.
- [11] BOUCHAALA F C, LAZZEZ A, JABEUR H, et al. Physicochemical characteristics of extra virgin olive oil in function of tree age and harvesting period using chemometric analysis [J]. *Sci Horti*, 2014, 180: 52-58.
- [12] MANSOUR A B, FLAMINI G, SELMA Z B, et al. Comparative study on volatile compounds, fatty acids, squalene and quality parameters from whole fruit, pulp and seed oils of two Tunisian olive cultivars using chemometrics[J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2015, 117(7):976-987.
- [13] 韩锐,邢文黎,孔维宝,等. 甘肃武都区 5 个主栽品种油橄榄果实的性状及品质研究[J]. 中国油脂,2017,42(4):140-144.
- [14] 张东,薛雅琳,朱琳,等. 我国油橄榄果及初榨橄榄油品质研究[J]. 中国粮油学报,2017,32(2):88-93.
- [15] 陈海云,耿树香,宁德鲁,等. 不同品种及成熟度油橄榄中脂肪酸的检测分析[J]. 广东农业科学,2012,39(24):111-113.
- [16] 杨丛华,宁德鲁,石卓功,等. 油橄榄在云南的果实生长发育特性分析[J]. 经济林研究,2020,38(1):177-183.
- [17] PIRAVI - VANAK Z, GHASEMI J, GHAVAMI M, et al. The influence of growing region on fatty acids and sterol composition of Iranian olive oils by unsupervised clustering methods[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2012, 89(3):371-378.
- [18] 闫辉强,后春静,马君义,等. 不同品种和成熟度的油橄榄果表型性状与脂肪酸组成及含量分析[J]. 中国油脂,2019,44(4):105-111.
- [19] 赵梦炯,姜成英,吴文俊,等. 油橄榄果实不同时期色泽和脂肪酸含量的动态变化[J]. 河北科技师范学院学报,2018,32(1):25-28.
- [20] 程子彰,贺靖舒,占明明,等. 油橄榄果生长与成熟过程中油脂的合成[J]. 林业科学,2014,50(5):123-131.
- [21] KONG W, HAN R, LIU N, et al. Dynamic assessment of the fruit quality of olives cultivated in Longnan (China) during ripening [J]. *Sci Horti*, 2019, 253:8-16.
- [22] 杨倩雨,郑浩,李志强,等. 油橄榄果实经济性状随成熟度的变化[J/OL]. 中国油脂,2021 [2021-09-13]. <https://doi.org/10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.210288>.
- [23] YORULMAZ H O, KONUSKAN D B. Antioxidant activity, sterol and fatty acid compositions of Turkish olive oils as an indicator of variety and ripening degree [J]. *J Food Sci Technol*, 2017, 54(12):4067-4077.
- [24] ÖZEL B, UGUZ S S, KILERCIOGLU M, et al. Effect of different polysaccharides on swelling of composite whey protein hydrogels: a low field (LF) NMR relaxometry study[J/OL]. *J Food Process Eng*, 2017,40(3):e12465 [2021-04-22]. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12465>.
- [25] HANSEN C, THYBO A, BERTRAM H, et al. Determination of dry matter content in potato tubers by low-field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58(9):10300-10304.
- [26] CHUNG C, SHER A, ROUSSET P, et al. Formulation of food emulsions using natural emulsifiers: utilization of quillaja saponin and soy lecithin to fabricate liquid coffee whiteners[J]. *J Food Eng*, 2017, 209:1-11.
- [27] LIU Y, GAJEWICZ - JAROMIN A, RODIN V, et al. Explanations for water whitening in secondary dispersion and emulsion polymer films[J]. *J Polym Sci Pol Phys*, 2016, 54:1658-1674.
- [28] WANG C, WANG X, LIU C Y, et al. Application of LF-NMR to the characterization of camellia oil-loaded pickering emulsion fabricated by soy protein isolate [J/OL]. *Food Hydrocolloid*, 2021, 112:106329 [2021-04-22]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106329>.
- [29] LIU F, TANG C H. Soy protein nanoparticle aggregates as Pickering stabilizers for oil-in-water emulsions [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(37):8888-8898.

(上接第 46 页)