

# 油橄榄果实经济性状随成熟度的变化

杨倩雨<sup>1,2</sup>, 郑浩<sup>1,2</sup>, 李志强<sup>3</sup>, 苏淑钗<sup>1,2</sup>

(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; 3. 北京林业大学 工学院, 北京 100083)

**摘要:**为确定油橄榄的最佳采收期,测定了4个油橄榄品种(‘佛奥’‘科拉蒂’‘小苹果’和‘米扎’)不同成熟度果实的表型性状和内在品质,观察了果实经济性状随成熟度的变化,最后采用主成分分析法对其品质进行评价,并探讨了不同品种的最佳成熟度。结果表明:随着成熟度增加,4个品种油橄榄果实单果质量总体呈上升趋势,而果形指数呈相反的变化趋势,除‘科拉蒂’的果肉率在第五成熟度达到最大值外,其余品种的果肉率均在第三成熟度达到最大值;不同成熟度的4个品种油橄榄果实鲜果含水率为42.07%~68.48%,干基含油率为40.60%~55.37%,‘佛奥’‘小苹果’和‘米扎’果实在第四成熟度达到最大干基含油率,分别为54.06%、49.10%和45.66%,‘科拉蒂’的干基含油率在第五成熟度达到最大值(55.37%)。随着成熟度增加,4个品种果实的蛋白质含量总体较稳定;还原糖含量变化不一,呈现波浪式的变化;总多酚和总黄酮含量总体呈下降的趋势。不同品种不同成熟度的油橄榄果实中油脂的脂肪酸组成与含量存在差异,具体表现为随着成熟度增加,亚油酸含量增加,油酸含量降低,MUFA/PUFA和油酸/亚油酸呈下降趋势。‘科拉蒂’橄榄油的UFA含量最高,为85.01%,而SFA含量最低,为15.28%。对4个品种果实的表型性状、干基含油率、主要化合物含量、主要脂肪酸组成及含量等共14个指标进行主成分分析并依据综合得分进行排序,发现不同品种有不同的最佳成熟度,其中‘科拉蒂’和‘佛奥’为第一成熟度,‘小苹果’为第五成熟度,‘米扎’为第四成熟度;品质最好的品种为‘科拉蒂’,‘佛奥’和‘小苹果’表现相当,其次为‘米扎’。

**关键词:**油橄榄;成熟度;经济性状;表型性状;脂肪酸;主成分分析

中图分类号:TS222;Q946

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2022)06-0109-08

## Changes of economic characters of *Olea europaea* fruit with maturity

YANG Qianyu<sup>1,2</sup>, ZHENG Hao<sup>1,2</sup>, LI Zhiqiang<sup>3</sup>, SU Shuchai<sup>1,2</sup>

(1. 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; 3. Engineering College, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to determine the best harvest time of *Olea europaea*, phenotypic traits and intrinsic quality of the fruits of four *Olea europaea* varieties (Frantoio, Coratina, Manzanilla and Mixaj) with different maturity levels were determined, and the changes of economic characters of the fruits with maturity were observed. Finally the quality of the fruits was evaluated by principal component analysis to discuss the best maturity of different varieties. The results showed that with the increase of maturity, the fruit weight of the four varieties of olives showed an overall upward trend, while the fruit shape index

showed an opposite trend. Except that the pulp rate of Coratina reached the maximum at the fifth maturity, the pulp rate of others reached the maximum at the third maturity. The water content of fresh fruit was 42.07%–68.48%, and the oil content of dry basis was 40.60%–55.37%.

收稿日期:2021-05-10;修回日期:2022-01-23

基金项目:国家重点研发计划(2019YFD1002401)

作者简介:杨倩雨(1998),女,在读硕士,研究方向为果实成熟与油脂积累(E-mail)1500197793@qq.com。

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

Frantoio, Manzanila and Mixaj reached the maximum oil contents of dry basis at the fourth maturity, which were 54.06%, 49.10% and 45.66% respectively. Coratina reached the maximum oil contents of dry basis at the fifth maturity (55.37%). With the increase of maturity, the protein contents of each variety was generally stable; the content of reducing sugar varied, showing a wave-like change; the contents of total polyphenols and total flavonoids generally showed a downward trend. The fatty acid composition and content of oils from different varieties and maturity levels fruits were different. As the maturity increased, the content of linoleic acid increased and the content of oleic acid decreased, and MUFA/PUFA and oleic acid/linoleic acid showed a downward trend. Coratina had the highest UFA content at 85.01%, while the SFA content was the lowest at 15.28%. Principal component analysis was performed on 14 indicators such as phenotypic traits of fruit, oil content of dry basis, main compounds content, main fatty acid composition and content, and comprehensively scores were calculated according to principal component scores, and it was found that different varieties had different optimal maturity. The optimal maturity for Coratina and Frantoio fruits were the first maturity. The optimal maturity for Manzanila was the fifth maturity, and for Mixaj it was the fourth maturity. The variety with best quality was Coratina, with Frantoio and Manzanila performed similarly, followed by Mixaj.

**Key words:** *Olea europaea*; maturity; economic character; phenotypic trait; fatty acid; principal component analysis

油橄榄 (*Olea europaea* L.), 又名齐墩果、木犀榄, 属木犀科 (Oleaceae) 齐墩果属 (*Olea*), 是著名亚热带果树和重要经济林木, 主要分布于我国甘肃、云南、四川、广东等省区<sup>[1]</sup>。油橄榄树全身都是宝, 具有极高的经济价值。一方面, 油橄榄果实含油率高达 15%~35%, 主要产品之一的橄榄油含有丰富的营养、功能活性成分以及平衡的脂肪酸, 能够预防心脑血管疾病、神经退行性疾病和癌症<sup>[2]</sup>, 素有“植物油皇后”的美誉。同时, 油橄榄果渣中含有多酚、黄酮类等成分, 且其叶中富含橄榄苦苷、羟基酪醇等抗氧化物<sup>[3]</sup>, 在化妆品和医疗行业具有广阔的应用前景。另一方面, 油橄榄适生于江河两岸的河谷地区, 对改善水土流失、发展地方经济有着重要的作用<sup>[4]</sup>。随着人们对健康的日益关注, 市场对橄榄油的需求也越来越旺盛, 消费者对橄榄油的品质要求也越来越高。成熟期是影响橄榄油生物活性物质含量和分布的关键因素<sup>[5]</sup>。目前, 国内外对油橄榄果实成熟的研究主要集中在生长发育<sup>[6]</sup>、表型性状<sup>[7-8]</sup>、脂肪酸组成及含量<sup>[9-11]</sup>、含油率<sup>[12-13]</sup>、功能成分<sup>[14-15]</sup>等方面, 由于探讨的因素并不全面, 目前对油橄榄最佳成熟度的研究仍有不足, 尚需深入研究。要提高油品质, 明确采收时间, 首先应明确不同品种及不同成熟度油橄榄果实压榨的橄榄油之间的差异。因此, 本研究测定了不同品种不同成熟度油橄榄果实的果形指数、果肉率以及蛋白质、还原糖、总多酚、总黄酮含量和其所制备的橄榄油中主要

的脂肪酸含量, 分析油橄榄果实表型性状与内在品质随成熟度的变化, 旨在得出每个品种果实经济性状与成熟度之间的差异, 为油橄榄采收成熟度的确定提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试样品采自云南省玉龙县大具乡有机油橄榄种植示范基地 (27°18'N, 100°15'E), 该地位于金沙江上游, 属金沙江干热河谷地区, 海拔 1 737 m。本研究选取 4 个品种油橄榄 (‘科拉蒂’ ‘佛奥’ ‘小苹果’ 和 ‘米扎’) 进行试验, 每个品种取 5 个成熟度, 成熟度以果皮、果肉色泽区分: 果皮黄绿为第一成熟度, 果皮少半紫为第二成熟度, 果皮多半紫为第三成熟度, 果皮全紫且果肉白色为第四成熟度, 果肉紫色为第五成熟度。各品种选取立地条件一致、生长良好的健康植株 5 株, 每个成熟度取 100 颗健康未损坏的鲜果, 置于塑料密封袋并保存于 4℃ 低温采样箱中, 24 h 内运送到实验室, 保存到 -80℃ 超低温冰箱中备用。

SQP 千分之一电子天平, HH-6 数显恒温水浴锅, 高速冷冻离心机, UV-2600 分光光度计, 莱驰 MM400 混合型球磨仪, Soxtec 2050 索氏提取系统。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 表型性状的测定

随机选取各品种不同成熟度鲜果 20 颗, 于采摘后 12 h 内用电子天平称其单果质量, 用电子数显游

标卡尺测量果实纵径、横径,计算果形指数,果形指数 = 纵径/横径;称取 5 颗单果质量,用小刀将油橄榄的果肉全部切除,用脱脂纱布将果核充分擦净、擦干,称取果核质量,计算果肉率,果肉率 = (鲜果质量 - 果核质量)/鲜果质量 × 100%。

### 1.2.2 鲜果含水率与干基含油率的测定

随机选取各品种不同成熟度鲜果 10 颗精确称质量,清洗干净,放入 65 °C 烘箱内烘至质量无变化并称其质量,根据鲜果质量和干果质量计算鲜果含水率,鲜果含水率 = (鲜果质量 - 干果质量)/鲜果质量 × 100%。

干基含油率参考 GB/T 14772—2008 方法进行测定。具体步骤:称取上述烘干果样约 3 g ( $m_1$ ),研磨后放入抽提滤纸筒中,之后将筒挂于索氏提取器抽提柱,记录抽提底瓶的质量 ( $m_2$ ),向抽提底瓶内加入石油醚,与抽提柱连接并压紧,设置程序,共抽提 6~8 h。回收石油醚,取下抽提底瓶,置于 105 °C 烘箱中烘 10~20 min 至质量无变化,冷却至室温,记录提取的橄榄油与抽提底瓶的质量 ( $m_3$ ),计算干基含油率 ( $Y$ ),  $Y = (m_3 - m_2)/m_1 \times 100\%$ 。每个样

品重复测定 3 次,取平均值。

### 1.2.3 内在品质的测定

将油橄榄果实用液氮速冻,使用球磨机研磨成粉末状,鲜果粉末用于蛋白质、还原糖、总多酚和总黄酮含量的测定,其中:蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝法<sup>[16]</sup>;还原糖含量的测定采用 DNS 显色法<sup>[16]</sup>,并稍加改动;总多酚含量的测定采用 Folin - Ciocalteu 显色法(以没食子酸为标准品),总黄酮含量的测定采用以芦丁标准品为对照的硝酸铝显色法,均参考王晓杰等<sup>[17]</sup>的微波辅助提取方法进行提取;橄榄油脂肪酸含量的测定采用 GB 5009.168—2016 第三法(归一化法)。

### 1.2.4 数据处理与统计分析

采用 Excel 2010 进行数据统计,SPSS 18.0 对数据进行单因素方差分析(LSD 法进行多重比较)和主成分分析,应用 Origin 2018 绘制图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种不同成熟度油橄榄果实表型性状(见图 1)

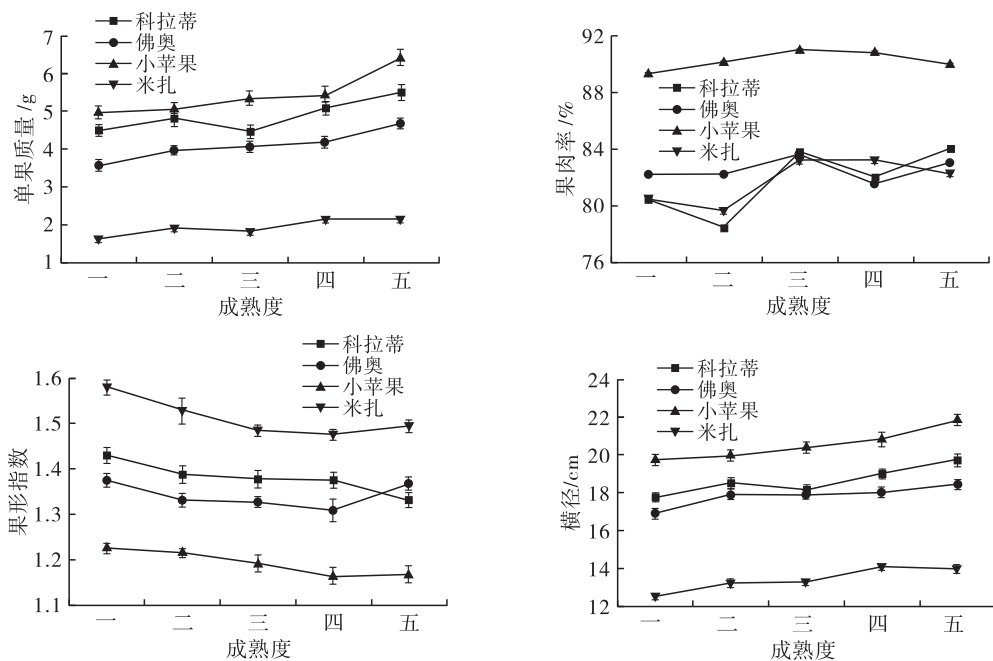


图 1 油橄榄果实单果质量、果形指数、果肉率和横径的变化

由图 1 可知,随着成熟度增加,不同品种油橄榄果实单果质量和横径总体均呈上升趋势,果形指数呈下降趋势,果肉率则变化不一。4 个品种果实的单果质量均在第五成熟度达到最大值,其中‘小苹果’果实单果质量最大,为 6.41 g,而‘米扎’果实单果质量最小,为 2.13 g。各品种果实的果形指数随着成熟度增加的变化趋势与单果质量的变化趋势相

反,说明油橄榄果实成熟度越大,单果质量越大,而果形指数越小,这与马君义等<sup>[18]</sup>的研究结果一致。果形指数的下降与横径增长、纵径不变或降低有关,说明油橄榄果实在成熟阶段物质在不断积累,主要表现为横径的增长,这在‘香玲’核桃上也有体现<sup>[19]</sup>。油橄榄果肉率的变化反映果肉中有效物质成分的增减,在果肉率达到相对高值时采收较

好<sup>[20]</sup>。除‘科拉蒂’果实的果肉率在第五成熟度达到最大值(84.00%)外,其他品种果实的果肉率均在第三成熟度达到最大值,‘小苹果’的最大果肉率为91.06%,‘米扎’的最大果肉率为83.12%,佛奥

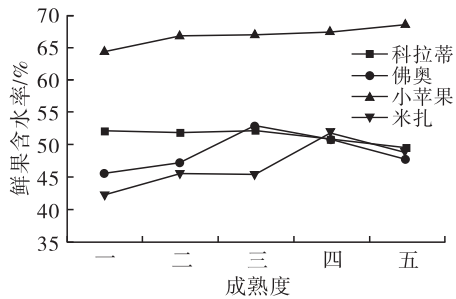
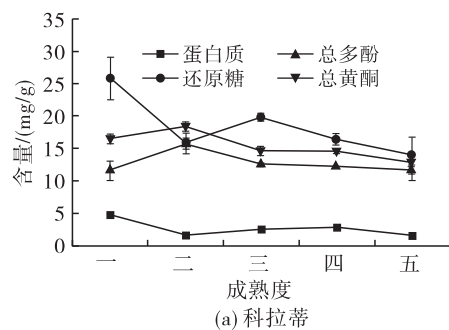
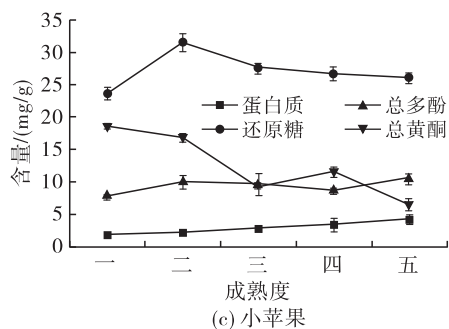


图2 油橄榄果实鲜果含水率和干基含油率

由图2可知,不同品种油橄榄果实鲜果含水率的变化不同,‘佛奥’和‘科拉蒂’果实鲜果含水率均在第三成熟度达到最大值,分别为52.84%和52.19%,而‘小苹果’果实的最高鲜果含水率为68.48%,出现在第五成熟度,‘米扎’果实的最高鲜果含水率则出现在第四成熟度,为51.80%,不同成熟度的4个品种果实的鲜果含水率为42.07%~68.48%。‘佛奥’‘小苹果’和‘米扎’果实的干基含油率变化趋势基本一致,



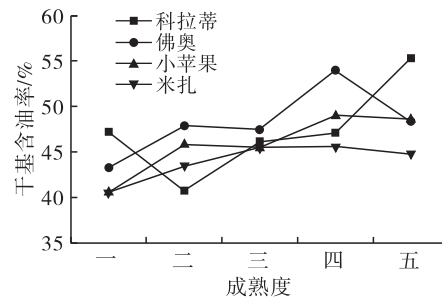
(a) 科拉蒂



(c) 小苹果

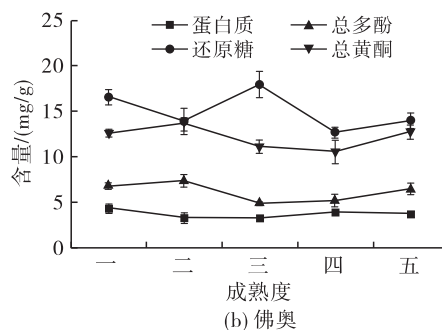
的最大果肉率为83.57%。

2.2 不同品种不同成熟度油橄榄果实的鲜果含水率与干基含油率(见图2)

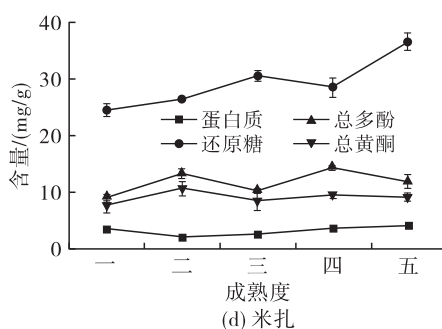


即随着成熟度的增加先上升后略微下降,最大值均出现在第四成熟度,分别为54.06%、49.10%和45.66%;‘科拉蒂’果实的干基含油率在第二成熟度下降,之后随着成熟度增加而增加,在第五成熟度达到最大值(55.37%);不同成熟度4个品种果实的干基含油率为40.60%~55.37%。

2.3 不同品种不同成熟度油橄榄果实的蛋白质、还原糖、总多酚和总黄酮含量(见图3)



(b) 佛奥



(d) 米扎

图3 油橄榄果实的蛋白质、还原性糖、总多酚和总黄酮含量

油橄榄果实中的蛋白质主要分布在果核中,果肉中含量较低,其含量与果实中的含油率存在一定的关系<sup>[21]</sup>;糖是油橄榄果实中脂类物质合成的前体,其含量与油脂积累呈显著负相关<sup>[22]</sup>;橄榄油中的酚类物质是其高氧化稳定性、颜色和风味的保障<sup>[23]</sup>。由图3可知:‘科拉蒂’果实蛋白质和还原糖含量最大值均出现在第一成熟度,分别为4.66 mg/g

和25.77 mg/g,随着成熟度增加,在第二成熟度降低,之后稍有上升又降低,在第五成熟度达到最低值;总多酚和总黄酮含量呈现相同的变化趋势,从第一成熟度到第二成熟度上升到最大值,分别为15.52 mg/g和18.29 mg/g,之后先降低后趋于平稳。

‘佛奥’果实的蛋白质含量为3.19~4.30 mg/g,基本处于平稳状态,这与邓俊琳等<sup>[24]</sup>的研究结果一

致;还原糖含量波动较大,其最大值在第三成熟度,为17.89 mg/g;总多酚和总黄酮含量在第二成熟度达到最大值,分别为7.30、13.58 mg/g,之后逐渐降低,从第四成熟度到第五成熟度稍有回升。

‘小苹果’果实蛋白质含量随着成熟度增加一直呈增加趋势,最高为4.15 mg/g;还原糖含量在第二成熟度达到最大值(31.52 mg/g),之后逐渐降低;总多酚含量随着成熟度增加基本处于稳定水平,平均含量为9.27 mg/g;总黄酮含量在第三成熟度快速降低,之后稍有上升,在第五成熟度又降低,在第一成熟度最高(18.55 mg/g),在第五成熟度最低(6.49 mg/g)。

‘米扎’果实蛋白质含量随成熟度增加先降低

后上升,在第二成熟度达到最低值(1.92 mg/g),在第五成熟度达最高值(3.97 mg/g);还原糖含量随着成熟度增加先逐渐增加,从第三成熟度到第四成熟度稍有下降,之后又上升,在第五成熟度达到最高值(36.50 mg/g)。  
‘米扎’果实总多酚和总黄酮含量呈现相同的波浪式变化趋势,这与郭永跃等<sup>[25]</sup>的研究结果相同,两者最低值均出现在第一成熟度,分别为8.90 mg/g和7.53 mg/g,总多酚含量在第四成熟度达最高值(14.32 mg/g),总黄酮含量在第二成熟度达最高值(10.63 mg/g)。

2.4 不同品种不同成熟度油橄榄果实中油脂的主要脂肪酸组成及含量(见表1)

表1 4个品种不同成熟度油橄榄果实中油脂的主要脂肪酸组成及含量

品种	成熟度	棕榈酸	棕榈烯酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	$\alpha$ -亚麻酸	花生酸	顺-11-二十碳烯酸
佛奥	一	14.80	1.09	1.36	68.60	12.30	1.06	0.39	0.40
	二	15.00	1.75	1.38	65.40	15.35	0.99	0.36	0.38
	三	15.50	1.98	1.35	65.90	13.60	1.03	0.34	0.37
	四	15.10	1.58	1.35	63.70	16.60	0.91	0.35	0.36
	五	15.30	1.61	1.53	61.40	18.50	1.00	0.36	0.37
小苹果	一	15.40	1.91	2.26	71.70	6.99	0.95	0.50	0.36
	二	15.70	2.05	2.26	68.90	9.34	0.89	0.49	0.34
	三	15.70	2.03	2.41	68.90	9.32	0.86	0.49	0.32
	四	15.70	2.24	2.53	68.20	9.57	0.88	0.51	0.32
	五	15.60	2.28	2.71	67.50	10.20	0.93	0.51	0.32
科拉蒂	一	12.40	0.35	1.74	76.90	6.81	0.86	0.43	0.54
	二	13.60	0.54	1.59	72.10	10.20	1.02	0.44	0.54
	三	13.10	0.55	1.51	72.50	10.30	1.00	0.41	0.53
	四	14.50	0.47	1.63	71.50	11.60	0.91	0.42	0.51
	五	12.60	0.41	1.66	69.70	13.90	0.85	0.39	0.48
米扎	一	16.20	1.56	1.91	66.20	12.70	0.64	0.44	0.35
	二	16.90	1.97	1.77	63.40	14.50	0.66	0.41	0.33
	三	16.70	1.94	1.87	63.90	14.10	0.64	0.43	0.33
	四	15.10	1.28	1.82	59.00	15.30	0.74	0.44	0.42
	五	17.30	2.47	1.66	59.80	17.90	0.65	0.38	0.30

由表1可知,油橄榄果实中油脂的主要脂肪酸种类含量在不同成熟度之间存在差异,但脂肪酸的种类保持不变。油橄榄果实中油脂的脂肪酸主要由油酸、棕榈酸、亚油酸、硬脂酸、棕榈烯酸、 $\alpha$ -亚麻酸以及少量的花生酸、顺-11-二十碳烯酸组成。橄榄油属于高油酸型植物油,油酸含量为59.00%~76.90%,其次为棕榈酸(12.40%~17.30%)、亚油酸(6.81%~18.50%)、硬脂酸(1.35%~2.71%)、棕榈烯酸(0.35%~2.47%)、 $\alpha$ -亚麻酸(0.64%~1.06%),花生酸和顺-11-二十碳烯酸的含量较低,均小于1%。上述结果与前人在甘肃省武都

区<sup>[26]</sup>、四川省西昌市<sup>[27]</sup>、云南省永仁县和丽江市<sup>[9]</sup>等地区的研究结果类似,说明橄榄油主要脂肪酸种类及含量大小顺序不受地域条件的限制。橄榄油中饱和脂肪酸主要由单饱和脂肪酸(油酸、棕榈烯酸、顺-11-二十碳烯酸)和多饱和脂肪酸(亚油酸、 $\alpha$ -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。4个品种果实的油脂中油酸含量随着成熟度增加逐渐降低,下降的速率呈现快、慢、快的趋势,这与Huang等<sup>[28]</sup>的研究结果基本相同。‘小苹果’‘科拉蒂’和‘米扎’果实的油脂中亚油酸含量与油酸含量呈现相反的变化趋势;‘小苹

果’果实的油脂中硬脂酸含量与亚油酸含量呈现相同的变化趋势;棕榈酸含量在不同品种和成熟度果实的油脂中变化不大,总体随成熟度增加而增加。

4个品种不同成熟度油橄榄果实中油脂的脂肪酸组成如表2所示。由表2可见:在5个成熟度中,4个品种的橄榄油中饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)的含量分别为15.28%~18.67%、64.65%~73.52%和9.99%~16.27%;4个品种的橄榄油中不饱和脂肪酸(UFA)的变异系数(CV)在0.35%~2.44%之间,其中‘科拉蒂’橄榄油的UFA含量最高,为

85.01%;‘米扎’橄榄油的MUFA含量最低,为64.65%,‘科拉蒂’橄榄油的最高,为73.52%,4个品种橄榄油的MUFA变异系数为2.06%~4.52%;PUFA、MUFA/PUFA、油酸/亚油酸的变异系数较高,主要原因是油橄榄中的主要PUFA类型是亚油酸且其含量在不同成熟度间差异较大<sup>[22]</sup>。随着成熟度增加,4个品种的橄榄油中MUFA含量逐渐降低,PUFA含量呈上升趋势,MUFA/PUFA和油酸/亚油酸呈下降趋势,这与Yorulmaz等<sup>[29]</sup>的研究结果一致。

表2 4个品种不同成熟度油橄榄果实中油脂的脂肪酸组成

品种	成熟度	含量/%				MUFA/PUFA	油酸/亚油酸
		SFA	UFA	MUFA	PUFA		
佛奥	一	16.55	83.45	70.09	13.36	5.25	5.58
	二	16.74	83.87	67.53	16.34	4.13	4.26
	三	17.19	82.88	68.25	14.63	4.66	4.85
	四	16.80	83.15	65.64	17.51	3.75	3.84
	五	17.19	82.88	63.38	19.50	3.25	3.32
	均值(CV)	16.89(1.69)	83.25(0.51)	66.98(3.83)	16.27(14.78)	4.21(18.50)	4.37(20.11)
小苹果	一	18.16	81.91	73.97	7.94	9.32	10.26
	二	18.45	81.52	71.29	10.23	6.97	7.38
	三	18.60	81.43	71.25	10.18	7.00	7.39
	四	18.74	81.21	70.76	10.45	6.77	7.13
	五	18.82	81.23	70.10	11.13	6.30	6.62
	均值(CV)	18.55(1.41)	81.46(0.35)	71.47(2.06)	9.99(12.07)	7.27(16.21)	7.76(18.49)
科拉蒂	一	14.57	85.46	77.79	7.67	10.14	11.29
	二	15.63	84.40	73.18	11.22	6.52	7.07
	三	15.02	84.88	73.58	11.30	6.51	7.04
	四	16.55	84.99	72.48	12.51	5.79	6.16
	五	14.65	85.34	70.59	14.75	4.79	5.01
	均值(CV)	15.28(5.38)	85.01(0.49)	73.52(3.60)	11.49(22.35)	6.75(29.97)	7.31(32.49)
米扎	一	18.55	81.45	68.11	13.34	5.11	5.21
	二	19.08	80.86	65.70	15.16	4.33	4.37
	三	19.00	80.91	66.17	14.74	4.49	4.53
	四	17.36	76.74	60.70	16.04	3.78	3.86
	五	19.34	81.12	62.57	18.55	3.37	3.34
	均值(CV)	18.67(4.20)	80.22(2.44)	64.65(4.52)	15.57(12.41)	4.22(15.88)	4.26(16.57)

注:表中CV表示变异系数

## 2.5 主成分分析

对油橄榄果实的表型性状、鲜果含水率、干基含油率和内在品质指标进行主成分分析,主成分的特征值及方差贡献率、载荷矩阵分别见表3和表4。

表3 主成分的特征值及方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	3.634	25.958	25.958
2	3.479	24.852	50.810
3	3.209	22.925	73.735
4	1.767	12.622	86.357

由表3可知,前4个主成分的特征值均大于1,累积方差贡献率为86.357%,说明这4个主成分能够反映和解释14个指标(表4)的大部分信息。

由表4可知:单果质量、果形指数、果肉率和鲜果含水率在第一主成分上有较高载荷,相关性强,方差贡献率为25.958%,说明第一个主成分主要表达的是油橄榄外观性状的信息;干基含油率、蛋白质含量、还原糖含量、总多酚含量在第二主成分上有较高载荷,相关性强,方差贡献率为24.852%,反映了油橄榄果实中的主要化合物含量和含油率;总黄酮、油酸、

亚油酸含量在第三主成分上有较高载荷,相关性强,方差贡献率为22.925%,反映了油橄榄果实的主要脂肪酸和总黄酮含量;第四主成分有UFA含量、SFA含量、MUFA/PUFA,主要体现油橄榄果实脂肪酸的组成信息。

表4 主成分载荷矩阵

性状	主成分			
	1	2	3	4
单果质量	-0.976	0.047	-0.093	-0.105
果形指数	0.855	0.414	0.184	0.063
果肉率	0.850	0.198	0.385	-0.050
鲜果含水率	0.833	-0.398	0.194	0.011
干基含油率	0.130	0.930	-0.267	-0.038
蛋白质含量	-0.147	-0.929	0.240	0.019
还原糖含量	-0.093	0.858	0.369	-0.041
总多酚含量	0.207	-0.578	0.328	-0.502
总黄酮含量	0.323	-0.040	0.896	-0.135
油酸含量	-0.348	0.006	-0.890	0.144
亚油酸含量	0.162	-0.420	0.865	-0.124
UFA含量	-0.084	0.164	-0.040	0.850
SFA含量	0.219	-0.317	-0.169	0.684
MUFA/PUFA	-0.371	0.067	0.485	-0.499

根据因子得分以及各主成分方差贡献率占累积方差贡献率的比例计算主成分得分,得到不同品种不同成熟度的综合得分,结果见表5。综合得分分值越高,说明综合品质越好。

表5 不同品种不同成熟度油橄榄果实表型性状与主要功能成分的综合得分

品种	不同成熟度的得分				
	一	二	三	四	五
科拉蒂	0.848	0.057	0.359	0.165	0.439
佛奥	0.354	-0.115	0.285	0.103	-0.315
小苹果	0.345	0.159	0.238	0.381	0.411
米扎	-0.759	-0.964	-0.834	-0.226	-0.931

由表5可知,不同品种成熟度的得分排名为:‘科拉蒂’,一成熟度>五成熟度>三成熟度>四成熟度>二成熟度;‘佛奥’,一成熟度>三成熟度>四成熟度>二成熟度>五成熟度;‘小苹果’,五成熟度>四成熟度>一成熟度>三成熟度>二成熟度;‘米扎’,四成熟度>一成熟度>三成熟度>五成熟度>二成熟度。‘科拉蒂’和‘佛奥’果实综合得分最高值均在第一成熟度,因此选择第一成熟度为‘科拉蒂’和‘佛奥’果实的最佳成熟度。前人的研究中也指出油橄榄果实在成熟指数较低时或许会更适合生产高化学品质的特级初榨橄榄油<sup>[30]</sup>,油用油橄榄果实的采收在中果皮生长阶段结束到果实开

始变成紫色之间比较适宜<sup>[31]</sup>。‘小苹果’果实的最佳成熟度为第五成熟度,‘米扎’果实的最佳成熟度为第四成熟度。将各品种最佳成熟度果实的综合得分进行排序,最高是‘科拉蒂’,然后依次为‘小苹果’‘佛奥’‘米扎’。综合分析表明,4个油橄榄品种中‘科拉蒂’果实的品质最好,‘佛奥’和‘小苹果’的表现相当。

### 3 结论

随成熟度的增加,4个品种油橄榄果实单果质量总体呈上升趋势,果形指数呈相反的变化趋势。除‘科拉蒂’果实的果肉率在第五成熟度达到最大值外,其他品种的果肉率均在第三成熟度达到最大值,品种间的果肉率相差较大;不同成熟度的4个品种油橄榄果实的鲜果含水率为42.07%~68.48%,干基含油率为40.60%~55.37%,其中‘佛奥’‘小苹果’和‘米扎’果实干基含油率在第四成熟度达到最大,‘科拉蒂’果实干基含油率在第五成熟度达到最大。

随成熟度增加,4个品种油橄榄果实的蛋白质含量总体较稳定;不同品种间还原糖含量变化不一,呈现波浪式的变化;不同品种间总多酚、总黄酮的含量变化存在差异,随着成熟度增加,总多酚、总黄酮含量总体呈降低的趋势。不同成熟度的4个品种油橄榄果实中油脂的主要脂肪酸及含量分别为油酸59.00%~76.90%、棕榈酸12.40%~17.30%、亚油酸6.81%~18.50%、硬脂酸1.35%~2.71%,各类脂肪酸含量和脂肪酸组成变化的趋势并不完全一致。主要脂肪酸含量由高到低依次为油酸、棕榈酸、亚油酸、硬脂酸、棕榈烯酸和 $\alpha$ -亚麻酸。随着成熟度增加,亚油酸含量增加,油酸含量降低,MUFA/PUFA和油酸/亚油酸呈下降趋势。‘科拉蒂’橄榄油的UFA含量最高,为85.01%,其SFA含量最低,为15.28%;‘米扎’橄榄油的SFA含量最高,为18.67%,其UFA含量最低,为80.22%。

对油橄榄果实表型性状、鲜果含水率、干基含油率、主要化合物含量、主要脂肪酸组成及含量共14个指标进行主成分分析,并依据综合得分进行排序,得出不同品种有不同的最佳成熟度,第一成熟度为‘科拉蒂’和‘佛奥’果实的最佳成熟度,‘小苹果’的最佳成熟度为第五成熟度,‘米扎’的最佳成熟度为第四成熟度。品质最好的品种为‘科拉蒂’,‘佛奥’和‘小苹果’表现相当,其次为‘米扎’。

### 参考文献:

- [1] 王成章,陈强,罗建军,等.中国油橄榄发展历程与产业展望[J].生物质化学工程,2013,47(2):41-46.

- [2] GUO Z, JIA X, ZHENG Z, et al. Chemical composition and nutritional function of olive (*Olea europaea* L.): a review [J]. *Phytochem Rev*, 2018, 17(5): 1091–1110.
- [3] ROMERO C, MEDINA E, MATEO M A, et al. Quantification of bioactive compounds in Picual and Arbequina olive leaves and fruit [J]. *J Sci Food Agr*, 2017, 97(6): 1725–1732.
- [4] 王贵禧, 俞宁, 邓明全, 等. 中国油橄榄发展概况 [J]. *林业科技通讯*, 2000(1): 18–19.
- [5] PERES F, MARTINS L L, MOURATO M, et al. Bioactive compounds of Portuguese virgin olive oils discriminate cultivar and ripening stage [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2016, 93(8): 1137–1147.
- [6] 王笑山, 薛益民, 淡克德, 等. 油橄榄果实生长发育及采收期的研究 [J]. *经济林研究*, 1987(2): 9–17.
- [7] 吴开志, 肖千文, 贾瑞芬, 等. 油橄榄品种表型性状的多样性 [J]. *经济林研究*, 2008(2): 48–52.
- [8] 后春静, 周娅琼, 马君义, 等. 陇南油橄榄‘阿尔波萨纳’果实表型性状及主要功能成分动态变化 [J]. *中国油脂*, 2019, 44(12): 32–38.
- [9] 耿树香, 杨生超, 宁德鲁, 等. 云南引种油橄榄果实含油率及其脂肪酸组成分析 [J]. *西南林业大学学报*, 2018, 38(4): 193–199.
- [10] 朱万泽, 范建容, 彭建国, 等. 四川省油橄榄引种品种果实含油率及其脂肪酸分析 [J]. *林业科学*, 2010, 46(8): 91–100.
- [11] DE LA ROSA R, TALHAOU N, ROUIS H, et al. Fruit characteristics and fatty acid composition in advanced olive breeding selections along the ripening period [J]. *Food Res Int*, 2013, 54(2): 1890–1896.
- [12] 王贵德, 邓煜, 张正武, 等. 甘肃陇南油橄榄主栽品种含油率的测定与分析 [J]. *经济林研究*, 2012, 30(3): 87–90.
- [13] 向春蓉. 凉山引进油橄榄品种果实含油率及初榨橄榄油的品质分析 [D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2017.
- [14] 后春静, 闫辉强, 马君义, 等. 陇南油橄榄“贺吉”果实中主要功能成分动态变化规律 [J]. *中国油脂*, 2019, 44(2): 30–36.
- [15] YANG L H, MA J Y, HOU C J, et al. Evolution of phenotypic traits and main functional components in the fruit of ‘Chenggu – 32’ olives (*Olea europaea* L.) cultivated in Longnan (China) [J]. *J Oleo Sci*, 2020, 69(9): 973–984.
- [16] 张志良, 瞿伟菁, 李小芳. *植物生理学实验指导* [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 104–105, 119–127.
- [17] 王晓杰, 黄立新, 张彩虹, 等. 微波辅助提取橄榄苦苷及其抗氧化性能研究 [J]. *食品工业科技*, 2018, 39(7): 140–145.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 王贵德, 邓煜, 张正武, 等. 油橄榄最适采收期的研究 [J]. *中国果树*, 2013(3): 30–33.
- [21] ZAMORA R, ALAIZ M, HIDALGO F J. Influence of cultivar and fruit ripening on olive (*Olea europaea*) fruit protein content, composition, and antioxidant activity [J]. *J Agric Food Chem*, 2001, 49(9): 4267–4270.
- [22] KONG W, HAN R, LIU N, et al. Dynamic assessment of the fruit quality of olives cultivated in Longnan (China) during ripening [J]. *Sci Hort*, 2019, 253: 8–16.
- [23] CONDE C, DELROT S, GERÓS H. Physiological, biochemical and molecular changes occurring during olive development and ripening [J]. *J Plant Physiol*, 2008, 165(15): 1545–1562.
- [24] 邓俊琳, 刘露, 刘泉, 等. 油橄榄鲜果中主要化合物随成熟度的变化 [J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(10): 73–77.
- [25] 郭永跃, 马君义, 后春静, 等. 陇南3个品种油橄榄果实品质比较分析 [J]. *中国油脂*, 2021, 46(1): 121–127.
- [26] 韩锐, 邢文黎, 孔维宝, 等. 甘肃武都区5个主栽品种初榨橄榄油的品质分析 [J]. *中国油脂*, 2017, 42(2): 146–150.
- [27] 彭立功, 刘泉, 兰艳, 等. 西昌引进油橄榄不同成熟度果实品质分析 [J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(5): 1–7.
- [28] HUANG S, WANG Q, WANG Y, et al. Physicochemical characterization and antioxidant activities of Chongqing virgin olive oil: effects of variety and ripening stage [J]. *J Food Meas Charact*, 2020, 14(4): 2010–2020.
- [29] 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.
- [30] WANG Y J, YU L, ZHAO A N, et al. Quality characteristics and antioxidant activity during fruit ripening of three monovarietal olive oils cultivated in China [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2021, 98(3): 229–240.
- [31] 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.