

凉山州 8 个引进品种初榨橄榄油 无机元素的相关性和主成分分析

刘 莉¹, 王玉洁¹, 呷觉有故², 周莉君¹, 刘 静¹, 丁春邦^{*}

¹四川农业大学生命科学学院, 雅安 625014; ²凉山州中泽新技术开发有限责任公司, 西昌 615000

摘要:以凉山州 8 个引进品种初榨橄榄油为材料, 采用火焰原子吸收光谱法 (FAAS) 测定 Ca、Fe、Mg、Mn、Cu、Zn 和 K 的含量, 采用石墨炉原子吸收光谱法 (GFAAS) 测定 Pb、Cd 和 Cr 的含量, 并对无机元素进行相关性和主成分分析。结果表明: 10 种无机元素的含量差异较大, 各元素的平均含量由高到低依次为 Ca、K、Zn、Mg、Fe、Mn、Cu、Pb、Cr 和 Cd; 有害元素 Pb、Cr、Cd 的含量均远低于 0.100 μg/g, 说明该地区的土壤未受重金属污染, 适宜建立规范化油橄榄栽培基地; 部分元素之间存在相关关系, 仅从无机元素来看, 城固 32 初榨橄榄油质量最优。本实验可为橄榄油的品质评价提供参考。

关键词:初榨橄榄油; 原子吸收光谱法; 无机元素; 相关性分析; 主成分分析

中图分类号: R284.1; Q946.91

文献标识码: A

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2018.S.005

Correlation and Principal Component Analysis of Inorganic Elements in Virgin Olive Oils from Eight Introduced Varieties Olive Planting in Liangshan Prefecture

LIU Li¹, WANG Yu-jie¹, GA-JUE You-gu², ZHOU Li-jun¹, LIU Jing¹, DING Chun-bang^{1*}

¹College of Life Sciences, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China;

²Liangshan Zhongze New Technology Development Co. Ltd, Xichang 615000, China

Abstract: Flame atomic absorption spectrometry was utilized to determine the Ca, Fe, Mg, Mn, Cu, Zn and K contents, and graphite furnace atomic absorption spectrometry was utilized to determine the Pb, Cd and Cr contents in virgin olive oils from eight introduced varieties olive planting in Liangshan prefecture, respectively. The correlation and principal component of these inorganic elements were analyzed. The results showed that a significant difference was observed among the 10 kinds of inorganic elements, and the elements contents were in the following order: Ca > K > Zn > Mg > Fe > Mn > Cu > Pb > Cr > Cd. Moreover, harmful elements of Pb, Cr and Cd contents were far bellowing 0.100 μg/g, suggested that the soil in this area was not polluted by heavy metals and suited to establish standardized cultivation bases for olive. In addition, there was a correlation between some elements, and the quality of Chenggu 32 virgin olive oil was the best. Overall, the results of this experiment could provide reference for the quality evaluation of olive oil.

Key words: virgin olive oil; atomic absorption spectrometry; inorganic element; correlation analysis; principal component analysis

油橄榄 (*Olea europaea* L.) 是木犀科 (Oleaceae) 木犀榄属 (*Olea*) 的常绿乔木, 与油茶、油棕和椰子并称为世界四大木本食用油料树种^[1,2]。初榨橄榄油是油橄榄鲜果直接经物理冷榨而得的植物油, 因其加工过程未经高温和化学方法的处理而含有丰富的不饱和脂肪酸及多酚、植物甾醇和维生素等生物活

性成分, 保留了特有的香味和口感, 具有预防心脑血管和肠胃疾病, 促进消化、骨骼和神经系统发育以及抗癌美容等功效, 被誉为“液体黄金”, 是当之无愧的绿色保健食品^[3-6]。

橄榄油中富含多种人体必需的无机元素, 对体内多种酶有活性作用, 对核酸和蛋白质合成代谢、免疫过程等都有直接或间接作用, 是生物组织不可缺少的重要组成部分, 如 Fe 主要参与氧的运输和贮存、合成细胞色素和多种金属酶以及增强机体免疫

功能等^[7], Zn 能促进机体生长发育、维持细胞功能、调节机体免疫力以及影响味觉和食欲等^[8], Cu 对血红蛋白的合成、正常骨骼的组成及维持神经系统中的髓磷脂有重要作用,对病毒感染,尤其是流行性感带有保护作用^[9], Mn 有降血压降血脂等功效^[10]。目前,对橄榄油的研究主要集中在营养成分和提取工艺等方面,对无机元素的分析鲜有报道。本实验采用冷榨法提取凉山州 8 个引进油橄榄品种的油脂,用原子吸收光谱法测定油脂中 K、Ca、Mg、Mn、Fe、Cu、Zn、Pb、Cd 和 Cr 10 种无机元素的含量,并进行相关性和主成分分析,为橄榄油的品质评价提供参考。

1 实验材料

1.1 材料

2016 年 9 月中旬,选取凉山州西昌北河油橄榄基地长势良好、产量稳定的科拉蒂 (Coratina)、白橄榄 (Barnea)、豆果 (Arbequina)、奥托卡 (Ottobratica)、城固 32 (Chenggu 32)、克罗莱卡 (Koreniki)、佛

奥 (Frantoio) 和小苹果 (Manzanilla) 8 个引进油橄榄品种的全紫色成熟鲜果,分品种保存于 4 °C 冰箱备用。

1.2 试剂与仪器

Ca、K、Mg、Mn、Cu、Zn、Fe、Pb、Cd 和 Cr 等 10 种元素的标准溶液 (北京有色金属研究总院); HNO₃、HClO₄、抗坏血酸 (Vc)、NH₄H₂PO₄ 试剂均为优级纯 (成都市科龙化工试剂厂); 超纯水 (18.25 MΩ)。

AA-6300/GFA-EX7I 原子吸收分光光度计; 热解石墨管 (日本岛津); 艾柯超纯水机 (成都康宁实验专用纯水设备厂); 电子天平 (Sartorius); 电热板 (河北新兴仪器厂)。

2 实验方法

2.1 标准溶液的制备

Ca、K、Mg、Mn、Cu、Zn、Fe、Pb、Cd 和 Cr 标准储备液的质量浓度均为 1 mg/mL,使用时分别取适量的标准储备液,用超纯水逐级稀释成所需质量浓度 (表 1)。

表 1 10 种元素标准溶液的配制 (μg/mL)

Table 1 Prescription of ten element standards (μg/mL)

标准 Standard	Ca (μg/mL)	Fe (μg/mL)	Mg (μg/mL)	Mn (μg/mL)	Cu (μg/mL)	Zn (μg/mL)	K (μg/mL)	Pb (μg/mL)	Cd (μg/mL)	Cr (μg/mL)
STD0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
STD1	2.00	0.50	0.20	0.20	0.05	0.20	0.20	1.00	0.20	1.00
STD2	3.00	1.00	0.50	0.50	0.10	1.00	0.80	2.00	0.50	2.00
STD3	4.00	2.00	1.00	1.00	0.25	2.00	1.00	5.00	1.00	5.00
STD4	5.00	3.00	5.00	5.00	0.50	5.00	2.00	10.00	2.00	10.00
STD5	10.00	5.00	10.00	10.00	1.00	10.00	4.00	20.00	3.00	20.00

2.2 供试品溶液的制备

橄榄油的提取参照 Beltrán 等的方法^[11],取油橄榄鲜果 3.00 kg 洗净后粉碎,果浆在于 30 °C 融合 30 min,3000 rpm 离心分离大部分果渣,浆状物静置过夜得初榨橄榄油。转移至棕色瓶中于 4 °C 保存备用。

参照范宏的方法^[12],取 1.00 g 油样置于 200 mL 锥形瓶中,加入 20 mL HNO₃,摇匀后上置一玻璃漏斗,放置 48 h 或更长时间,加入 H₂O₂,放置 2 h,置于电子控温板上低温加热,产生大量泡沫,反复补加 H₂O₂ 和适量 HNO₃,直至不产生棕色气体,溶液呈无色透明为止,再加 25 mL 去离子水,煮沸除去多余的 HNO₃,重复处理 2 次,待溶液接近 1 ~ 2 mL 时

取下冷却,温热时将消解液移入 25 mL 容量瓶中,用 1% HNO₃ 定容,混匀后测定。同时做空白实验。

2.3 仪器工作条件

火焰原子吸收光谱法 (FAAS) 测定 Ca、Fe、Mg、Mn、Cu、Zn 和 K 的含量,选择积分时间 5 s,空气流量 15 mL/min,其它工作参数见表 2。石墨炉原子吸收光谱法 (GFAAS) 测定 Pb、Cd 和 Cr 的含量,选择干燥温度 150 °C,干燥 20 s 后,再于温度 250 °C 进一步干燥 10 s,其它工作参数见表 3。

2.4 橄榄油中无机元素的测定

按表 2 和表 3 的工作条件测定 8 个引进品种初榨橄榄油中 Ca、K、Mg、Mn、Cu、Zn、Fe、Pb、Cd 和 Cr 10 种无机元素的含量,测定 Pb 和 Cd 时加 NH₄H₂PO₄

表 2 FAAS 法仪器工作条件

Table 2 Operating parameters of instrument in FAAS

元素 element	狭缝宽 Slit wide (nm)	波长 Wavelength (nm)	灯电流 Lamp current (mA)	乙炔流量 Acetylene flow (L/min)	积分时间 Integration time (s)
Ca	0.7	422.7	10	2.0	5
Fe	0.2	248.3	12	2.2	5
Mg	0.7	285.2	8	1.8	5
Mn	0.2	279.5	10	2.0	5
Cu	0.7	324.7	6	1.8	5
Zn	0.7	213.9	8	2.0	5
K	0.7	766.5	10	2.0	5

表 3 GFAAS 法仪器工作条件

Table 3 Operating parameters of instrument in GFAAS

元素 Element	狭缝宽 Slit wide (nm)	波长 Wavelength (nm)	灯电流 Lamp current (mA)	灰化 Ashing		原子化 Atomization	
				温度 Temperature (°C)	时间 Time (s)	温度 Temperature (°C)	时间 Time (s)
Pb	0.7	283.3	10	700	23	2300	2
Cd	0.5	228.8	8	900	23	1800	2
Cr	0.7	257.9	10	800	23	2400	2

作为机体改进剂,测定 Cr 时加抗坏血酸(Vc)作为机体改进剂。测定重复 3 次。

2.5 相关性分析和主成分分析

采用 IBM SPSS Statistics 20 软件对 8 个引进品种初榨橄榄油中无机元素含量进行相关性和主成分分析。

3 结果与分析

3.1 方法学考察

3.1.1 线性关系考察

按照表 2 和表 3 的仪器工作条件,对系列标准溶液进行测定,以吸光度值为纵坐标,各元素标准溶液的浓度为横坐标,得到回归方程和相关系数(表 4)。结果表明,各元素的相关系数为 0.990 ~ 0.999,在本工作条件范围内各元素线性关系良好。

3.1.2 检出限试验

采用空白的对照溶液,按 10 次(N)测得的吸光度标准偏差(S)的 3 倍与标准曲线斜率的比值进行计算。结果表明利用 FAAS 法测定 K、Fe、Ca、Cu、Mg、Mn 和 Zn 的检出限为 0.011 ~ 0.261 $\mu\text{g}/\text{mL}$;利用 GFAAS 法测定 Pb、Cd 和 Cr 的检出限为 0.058 ~

0.071 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (表 4)。

3.1.3 精密度试验

随机抽取样品(8 号)溶液,重复进样 6 次。采用 FAAS 法测定 K、Fe、Ca、Cu、Mg、Mn 和 Zn 的 RSD 值为 0.56% ~ 2.09%,采用 GFAAS 法测定 Pb、Cd 和 Cr 的 RSD 值为 1.91% ~ 2.49%。RSD 值均小于 5%(表 4),表明本实验结果精密度良好。

3.1.4 稳定性试验

取 8 号样品溶液,分别于 0、6、12、18、24、30、36、42 和 48 h 重复测定。采用 FAAS 法测定 K、Fe、Ca、Cu、Mg、Mn 和 Zn 的 RSD 值为 0.80% ~ 2.15%,采用 GFAAS 法测定 Pb、Cd 和 Cr 的 RSD 值为 1.97% ~ 3.15%,表明样品溶液在 48 h 内测定结果稳定。

3.1.5 重现性试验

制备 5 份 8 号样品液,连续测定 6 次,采用 FAAS 法测定 K、Fe、Ca、Cu、Mg、Mn 和 Zn 的 RSD 值为 0.06% ~ 1.95%,采用 GFAAS 法测定 Pb、Cd 和 Cr 的 RSD 值为 1.01% ~ 2.04%,表明该方法具有较好的重复性。

3.1.6 加标回收试验

在 8 号样品液中加入适量已知浓度的标准溶液,连续测定 6 次,采用 FAAS 法测定 K、Fe、Ca、Cu、

Mg、Mn 和 Zn 的回收率为 99.87% ~ 102.56%,采用 GFAAS 法测定 Pb、Cd 和 Cr 的回收率为 99.62% ~ 101.21% (表 4)。

表 4 无机元素的线性回归方程、相关系数、检出限、精密度及回收率 ($n=6$)

Table 4 Linear regression equation, correlation coefficient, detection limit, relation standard deviation (RSD) and recovery frequency of inorganic elements ($n=6$)

元素 Element	线性回归方程 Linear regression equation	相关系数 Correlation coefficient	检出限 The detection limit ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	RSD (%)	回收率 Recovery rate (%)
K	$y=0.16261x+0.13365$	0.992	0.246	1.25	99.98
Fe	$y=0.12569x+0.00215$	0.999	0.052	1.13	101.51
Ca	$y=0.040551x+0.0055$	0.999	0.261	2.09	101.46
Cu	$y=0.061403x-0.02409$	0.999	0.029	0.97	99.87
Mg	$y=0.96271x+0.00397$	0.998	0.038	0.56	102.56
Zn	$y=0.12946x-0.01032$	0.990	0.011	0.88	99.87
Mn	$y=0.36059x+0.01225$	0.998	0.025	0.69	99.87
Pb	$y=0.009746x-0.0143$	0.997	0.071	2.49	101.21
Cd	$y=0.196680x+0.0075$	0.998	0.059	1.91	99.85
Cr	$y=0.008493x+0.0384$	0.995	0.058	1.93	99.62

3.2 不同品种初榨橄榄油无机元素含量分析

采用原子吸收光谱法测定凉山州 8 个引进品种初榨橄榄油中 K、Ca、Mg、Mn、Fe、Cu、Zn、Pb、Cd 和 Cr 10 种无机元素的含量(表 5),结果表明,10 种无机元素的含量差异较大,不同品种橄榄油中无机元素含量高低顺序基本一致,各元素的平均含量由高到低依次为 Ca(451.800 $\mu\text{g}/\text{g}$)、K(27.771 $\mu\text{g}/\text{g}$)、Zn(22.136 $\mu\text{g}/\text{g}$)、Mg(20.587 $\mu\text{g}/\text{g}$)、Fe(3.976 $\mu\text{g}/\text{g}$)、Mn(2.983 $\mu\text{g}/\text{g}$)、Cu(0.318 $\mu\text{g}/\text{g}$)、Pb(0.015 $\mu\text{g}/\text{g}$)、Cr(0.006 $\mu\text{g}/\text{g}$)和 Cd(0.004 $\mu\text{g}/\text{g}$)。有害元素 Pb、Cr、Cd 的含量均较低,在豆果、科拉蒂和小苹果 3 个品种中未检测出 Cr,在克罗莱卡、豆果、奥托卡和小苹果 4 个品种中未检测出 Pb,在克罗莱卡、科拉蒂、奥托卡和小苹果 4 个品种中未检测出 Cd。

3.3 相关性分析

相关性分析结果见表 6,无机元素 Ca 与 Mg 和 Mn 均表现出极显著正相关关系,相关系数分别为 0.883 和 0.884;Cu 与 Mn 也表现出极显著正相关关系,相关系数为 0.929;Cu 与 Ca 表现出极显著负相关关系,相关系数为 -0.912;Mn 与 Mg、Zn 和 Mn 表现出显著正相关关系,相关系数分别是 0.673 和 0.753;其余元素之间未表现出显著相关关系。

3.4 主成分分析

3.4.1 数据标准化

根据 10 种无机元素的测定结果(表 5),Pb、Cd 和 Cr 3 种元素含量较低,仅在 4 个品种中检测到了 Pb 和 Cd,5 个品种中检测到了 Cr,对这 3 种元素进行主成分分析意义不大。因此,选取 Ca、K、Mg、Mn、Cu、Zn 和 Fe 等 7 种元素变量进行主成分分析,其数据标准化结果见表 7。

3.4.2 主成分筛选及其贡献率

在 IBM SPSS Statistics 20 软件中对标准化后的数据进行主成分分析,前四个主成分的特征值和方差贡献率见表 8。其中特征值大于 1 的主成分有两个,分别记为 F_1 和 F_2 ,第一主成分的贡献率为 65.576%,第二主成分的贡献率为 15.964%,前两个主成分的总方差贡献率为 81.540%,在一定程度上可以代表全部的信息。

3.4.3 主成分得分、综合得分及品种排序

根据特征值和方差贡献率,得出主成分得分、综合得分及品种排序(表 9),8 个引进品种中城固 32 橄榄油排名第一,然后是克罗莱卡,白橄榄排名最后。仅从无机元素来看,城固 32 橄榄油质量最优,其次是克罗莱卡,然后是豆果,最差的是白橄榄。不过橄榄油的品质还要从油的香味、透明度、含水率、

表 5 不同品种橄榄油中无机元素含量 ($\mu\text{g/g}$)Table 5 The content of inorganic element in olive in different varieties ($\mu\text{g/g}$)

品种 Variety	K ($\mu\text{g/g}$)	Ca ($\mu\text{g/g}$)	Mg ($\mu\text{g/g}$)	Fe ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Mn ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Cd ($\mu\text{g/g}$)	Cr ($\mu\text{g/g}$)
GB/T23347-2009	-	-	-	≤ 3.000	≤ 0.100	-	-	-	-	-
佛奥 Frantoio	21.051 \pm 6.093	385.260 \pm 5.191	18.693 \pm 1.514	4.723 \pm 0.156	0.293 \pm 0.068	2.942 \pm 0.212	24.752 \pm 0.383	0.011 \pm 0.006	0.005 \pm 0.007	0.002 \pm 0.003
克罗莱卡 Koreniki	20.873 \pm 4.382	559.942 \pm 6.934	21.732 \pm 2.186	3.302 \pm 0.466	0.432 \pm 0.047	4.143 \pm 0.568	25.073 \pm 3.348	-	-	0.008 \pm 0.001
豆果 Arbequina	22.252 \pm 0.388	475.563 \pm 8.475	22.338 \pm 1.828	3.992 \pm 0.407	0.291 \pm 0.016	2.971 \pm 0.287	20.152 \pm 1.198	-	0.003 \pm 0.002	-
科拉蒂 Coratina	19.475 \pm 3.525	392.992 \pm 3.926	18.563 \pm 0.727	2.233 \pm 0.116	0.262 \pm 0.058	2.793 \pm 0.544	22.903 \pm 0.608	0.017 \pm 0.005	-	-
白橄榄 Barnea	49.932 \pm 9.014	421.464 \pm 9.203	19.476 \pm 2.381	1.582 \pm 0.167	0.281 \pm 0.028	2.416 \pm 0.122	21.282 \pm 0.466	0.012 \pm 0.007	0.003 \pm 0.006	0.003 \pm 0.002
奥托卡 Ottobratica	37.306 \pm 6.376	424.811 \pm 2.641	19.832 \pm 0.087	3.454 \pm 0.276	0.282 \pm 0.056	2.433 \pm 0.024	18.198 \pm 0.662	-	-	0.014 \pm 0.005
城固 32 Chenggu 32	17.453 \pm 4.537	637.698 \pm 5.276	23.878 \pm 1.542	7.170 \pm 0.176	0.423 \pm 0.077	3.971 \pm 0.391	24.468 \pm 2.351	0.021 \pm 0.008	0.004 \pm 0.007	0.002 \pm 0.002
小苹果 Manzanilla	33.823 \pm 6.271	364.672 \pm 5.667	20.192 \pm 2.259	5.342 \pm 0.476	0.280 \pm 0.088	2.192 \pm 2.251	20.262 \pm 0.908	-	-	-
平均值 Average	27.771	451.800	20.587	3.976	0.318	2.983	22.136	0.015	0.004	0.006

表 6 相关性分析结果

Table 6 The results Correlation analysis

成分 Element	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Pb	Cd	Cr
K	1.000									
Ca	-0.434	1.000								
Mg	-0.372	0.883 **	1.000							
Fe	-0.482	0.457	0.614	1.000						
Cu	-0.676	-0.912 **	0.747	0.462	1.000					
Mn	-0.454	0.884 **	0.673 *	0.362	0.929 **	1.000				
Zn	-0.615	0.460	0.171	0.240	0.634	0.753 *	1.000			
Pb	-0.547	0.806	0.771	0.560	0.717	0.795	0.287	1.000		
Cd	-0.545	-0.099	-0.290	0.532	0.222	0.338	0.906	-0.091	1.000	
Cr	0.227	-0.156	-0.135	-0.325	-0.150	-0.229	-0.682	-0.419	-0.866	1.000

注: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ 。Note: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ 。

酸度、过氧化值、脂肪酸组成、生育酚和甾醇含量等指标进行综合评价^[13,14]。

4 结论

本实验采用原子吸收光谱法测定凉山州引进的 8 个油橄榄品种的初榨橄榄油无机元素含量,用火焰原子吸收光谱法 (FAAS) 测定 Ca、Fe、Mg、Mn、Cu、

Zn 和 K 的含量,用石墨炉原子吸收光谱法 (GFAAS) 测定 Pb、Cd 和 Cr 的含量,结果表明,10 种无机元素的含量差异较大,不同品种橄榄油中无机元素含量高低顺序基本一致,各元素的平均含量由高到低依次为 Ca、K、Zn、Mg、Fe、Mn、Cu、Pb、Cr 和 Cd。相关性分析结果表明,无机元素 Ca 与 Mg 和 Mn、Cu 与 Mn 均表现出极显著正相关关系,Cu 与 Ca

表 7 数据标准化结果

Table 7 Results standardization values

品种 Variety	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
佛奥 Frantoio	-0.587	-0.761	-1.006	0.421	-0.366	-0.057	1.030
克罗莱卡 Koreniki	-0.603	1.071	0.607	-0.378	1.670	1.616	1.156
豆果 Arbequina	-0.482	0.186	0.929	0.010	-0.396	-0.016	-0.781
科拉蒂 Coratina	-0.725	-0.680	-1.075	-0.980	-0.820	-0.264	0.302
白橄榄 Barnea	1.936	-0.381	-0.590	-1.346	-0.542	-0.789	-0.336
奥托卡 Ottibratica	0.833	-0.346	-0.401	-0.293	-0.527	-0.765	-1.550
城固 32 Chenggu 32	-0.901	1.887	1.746	1.800	1.538	1.376	0.918
小苹果 Manzanilla	0.529	-0.977	-0.210	0.769	-0.557	-1.101	-0.738

表 8 特征值及方差贡献率

Table 8 The result of characteristic value and variance contribution rate

主成分 Principal component	特征值 Characteristic value	各因子贡献率 Contribution rate (%)	总方差贡献率 Cumulative contribution rate (%)
1	4.590	65.576	65.576
2	1.117	15.964	81.540
3	0.825	11.790	93.330
4	0.352	5.026	98.355

表 9 主成分得分、综合得分及排序

Table 9 Principal components scores and sort results of the sample

品种 Variety	F1	F2	综合得分 Comprehensive	排序 Sorting
佛奥 Frantoio	-0.162	-1.653	-0.371	4
克罗莱卡 Koreniki	1.809	-0.262	1.145	2
豆果 Arbequina	0.170	0.816	0.242	3
科拉蒂 Coratina	-1.161	-1.042	-0.928	7
白橄榄 Barnea	-1.953	0.775	-1.157	8
奥托卡 Ottibratica	-1.420	1.036	-0.766	6
城固 32 Chenggu 32	3.521	0.139	2.332	1
小苹果 Manzanilla	-0.804	0.168	-0.501	5

表现出极显著负相关关系, Mn 与 Mg、Zn 和 Mn 表现出显著正相关关系, 其余元素之间未表现出显著相关关系。主成分分析结果表明, 仅从无机元素来看, 8 个品种初榨橄榄油的质量排序依次为城固 32、克罗莱卡、豆果、佛奥、小苹果、奥托卡、科拉蒂和白橄榄, 当然橄榄油的质量还要从橄榄油的感官指标和理化指标等来综合评价。

近年来, 食品安全日益受到国际社会的关注, 国家标准 GB/T23347-2009 对初榨橄榄油中 Fe 和 Cu 含量规定了限量, Fe 不得高于 3.000 $\mu\text{g}/\text{g}$, Cu 不得高于 0.100 $\mu\text{g}/\text{g}$ ^[15]; 国家标准 GB2762-2012 对油脂及其制品中铅含量规定了限量, 不得高于 0.100 $\mu\text{g}/\text{g}$, 其余元素含量未做限定^[16]。本实验测定的 8 个品种橄榄油中, Fe 含量除白橄榄和科拉蒂外, 其

余品种均高于规定限量,而 Cu 含量各品种均高于规定限量,这可能与栽培地土壤中 Fe 和 Cu 的含量较高有关;另外,本研究的试验地西昌北河油橄榄基地,为防治油橄榄生长过程中的病虫害,定期喷洒大量的硫酸铜与生石灰,导致 Cu 离子在油橄榄果实中富集。因此,为保证橄榄油的品质,生产上应控制硫酸铜的喷洒量。有害元素 Pb、Cr、Cd 的含量远低于 0.100 $\mu\text{g}/\text{g}$,说明该地区的土壤未受重金属污染,适宜在该地区建立规范化栽培基地。

参考文献

- 1 Mei KK(梅抗抗), Zhou L(周力), Tang KY(唐开宇), *et al.* Advances in molecular markers and transcriptomics of olive[J]. *Mol Plant Breed*(分子植物育种), 2016, 12: 3469-3478.
- 2 Yi XP(易学平), Duan PF(段鹏飞), He SF(何守峰), *et al.* Research status of woody edible oil plant resources and seed oil[J]. *Chin Wild Plant Res*(中国野生植物资源), 2017, 3: 62-69.
- 3 Wang CZ(王成章), Chen Q(陈强), Luo JJ(罗建军), *et al.* Development history and industry prospect of Chinese olive[J]. *Biomass Chem Eng*(生物质化学工程), 2013, 47(2): 41-46.
- 4 Liu H(刘宏). "Liquid gold" - olive oil[J]. *Food Nutr China*(中国食物与营养), 2004, 11: 50-51.
- 5 Han R(韩锐), Xing WL(邢文黎), Kong WB(孔维宝), *et al.* Quality analysis of extra virgin olive oil from five main cultivars in Wudu district of Gansu province[J]. *China Oils Fats*(中国油脂), 2017, 42: 146-150.
- 6 Wang WB(王卫斌). Study on the health and disease prevention effect of olive oil[J]. *Forest Invent Plan*(林业调查规划), 2008, 33(6): 39-43.
- 7 Dong GL(董国力). Study on the correlation between trace elements Iron, Zinc, Iodine, Selenium, Fluoride and human health[J]. *Chin Mod Med*(中国当代医药), 2013, 20: 183-184.
- 8 Liu J(刘军), Li XW(李晓雯). Trace element Zinc and human health[J]. *Chin Trop Med*(中国热带医学), 2003, 3(1): 64-66.
- 9 Ge YL(葛亚龙), Tang ZH(唐志华). Trace elements and human health[J]. *Bever Ind*(饮料工业), 2013, 16(3): 4-6.
- 10 Xie M(谢敏), Wang J(汪洁), Zhang QL(张启立), *et al.* Correlation and principal component analysis of inorganic elements in gentiana macrophylla in different areas of Gansu province[J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2016, 28: 1402-1408.
- 11 Beltrán G, Aguilera MP, Carmen Del Río CD, *et al.* Influence of fruit ripening process on the natural antioxidant content of Hojiblanca virgin olive oils[J]. *Food Chem*, 2005, 89: 207-215.
- 12 Fan H(范宏). Determination of metal elements in edible oil by atomic absorption spectrometry and analysis of its nutritional value [D]. Hebei: Hebei University (河北大学), 2007.
- 13 Li QT(李秋庭), Cui DT(崔大同), Zhao SE(赵素娥). Discussion on processing technology and quality control of olive oil[J]. *Food Ferment Ind*(食品与发酵工业), 2002, 28(7): 42-45.
- 14 Zhang D(张东), Xue YL(薛雅琳), Zhu L(朱琳), *et al.* Study on the quality of olive fruit and virgin olive oil in China [J]. *J Chin Cereals Oils Assoc*(中国粮油学报), 2017, 32(2): 88-93.
- 15 Ministry of Health, PRC(中华人民共和国卫生部). GB 2762-2012 Pollutant limits in food [S]. Beijing: Standard Press of China, 2012.
- 16 Committee of Standardization Administration, SAC(中国国家标准化管理委员会). GB/ T23347-2009 Olive oil, olive pomace oil [S]. Beijing: Standard Press of China, 2009.