

柚子原产地溯源鉴定技术

颜 静¹, 唐 成², 梁亚雄², 郭锐峰², 熊亚波¹, 叶富饶¹, 刘 继¹, 秦 文^{1,*}

(1.四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014; 2.四川省广安市质量技术监督检测中心, 四川 广安 638000)

摘 要: 运用感官分析、化学成分分析和元素指纹分析作为评价手段, 研究不同品种柚子的一般品质特性差异并对柚子原产地溯源技术的探究。结果表明, 在方差分析中不同品种柚子的可食率、果实横径、VC含量、酸度、还原糖含量、黄酮含量、元素含量差异显著 ($P < 0.05$), 其中可食率和VC含量能大致区分柚子产地, 再进一步对元素进行主成分分析, 其中钙、铁、钠、铬、镁、锌、锰元素能直观、显著地区分不同产地的柚子。此评价手段可作为柚子原产地溯源的基本方法, 具有很高的可靠性和良好的应用前景。

关键词: 柚子; 原产地; 溯源

Tracing the Geographical Origin of Grapefruit

YAN Jing¹, TANG Cheng², LIANG Ya-xiong², GUO Rui-feng², XIONG Ya-bo¹, YE Fu-rao¹, LIU Ji¹, QIN Wen^{1,*}

(1. College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China;

2. Sichuan Guang'an City Quality and Technical Supervision and Testing Center, Guang'an 638000, China)

Abstract: The aims of this study were to develop a method to study the general quality characteristics of different varieties of grapefruit and to identify the geographical origin of grapefruit using sensory analysis, chemical analysis and elemental fingerprint analysis. The results indicated that there were significant differences in percent edibility, fruit diameter, acidity and the contents of vitamin C, reducing sugar and flavonoids among different varieties of grapefruit ($P < 0.05$). The ratio of edible portion and vitamin C could be used to approximately predict the geographical origin of grapefruit. Element concentrations were determined and statistically analyzed using principal component analysis (PCA). As a result, Ca, Fe, Na, Cr, Mg, Zn and Mn were able to be used to distinguish different origins of grapefruit. It can be concluded that analyses of the basic indicators in combination with elemental fingerprint analysis method can be used to successfully determine the geographical origin of grapefruit with high reliability and good prospect.

Key words: grapefruit; origin; traceable

中图分类号: TS201.2; TS201.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 04-0248-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201404050

柚子是芸香科柑橘属水果, 在我国具有丰富的资源, 我国福建、江西、广东、广西、湖南、湖北、四川等地均有种植。营养丰富、药用价值高, 富含胡萝卜素、B族维生素、VC、矿物质、糖类、有机酸等, 具有较高的研究价值。

近年来, 国内外许多学者对食物的原产地溯源技术进行了探索和尝试。针对不同的食品原产地溯源技术提出了多种技术方法, 包括稳定性同位素指纹分析、DNA指纹分析、元素指纹分析、化学成分分析^[1-12]。有关动物性食物的溯源研究情况, 国内外研究都较多^[13-18]。针对植物性食物的研究相对较少。Longobardi等^[19]运用化学成分分析法对4个不同地区的橄榄油进行分析, 发现来自不同地区之间的化学成分存在极显著差异 ($P < 0.01$), 分类

和预测能力等于97.7%和95.3%, 该方法能区分橄榄油的产地。Rastija等^[20]测定了3个地区的葡萄酒品种中的总酚和多酚含量, 最终将不同产地的葡萄酒区分开。Yücel等^[21]利用元素指纹分析对45个蜂蜜样本进行分析, 运用主成分分析和聚类分析最终能将样品准确分类。Irina等^[22]对来自两个主要产区的葡萄酒进行元素分析, 最终根据元素的差异变化将不同产地的葡萄酒区分开。Rodrigues等^[23]测定不同产地葡萄酒中17种元素含量, 溯源判别识别率达到98.2%。

食品原产地溯源技术可以保护地方特色产品, 提高其市场竞争力。任何单独的鉴定技术都有其局限性, 因此可将多个分析鉴定方法结合起来对食品进行原产地溯源。到目前为止, 国内外还没有一套完整的分析鉴定技

收稿日期: 2013-05-23

作者简介: 颜静 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: yanjingbz@163.com

*通信作者: 秦文 (1967—), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品加工及品质控制。E-mail: qinwen1967@yahoo.com.cn

术可以对食品的原产地进行分析。国外利用同位素指纹分析原产地溯源进行的研究较多,但是由于此方法运用的仪器设备昂贵,因此一般都是对其进行化学成分分析和元素指纹分析。同时可根据不同的食品特征性差异,对其进行简单的外部感官分析。因此本实验利用食品感官指标分析、化学成分分析和元素指纹分析对柚子进行原产地溯源,为柚子这一类食品的原产地溯源提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

实验原材料柚子分别采自柚子主产地重庆(五布红柚、白市柚、邻水红柚、三元红柚)、四川(垫江红柚、强德勒红柚、广安龙安柚)、福建(琯溪蜜柚)。于2012年10月下旬,避开雨露水未干的早上,选择9成熟(由于实验测定的感官和理化指标与成熟度密切相关,因此选择成熟度相同的材料)、接受光照较多的柚子进行采摘,采摘后尽量在较短时间内运至实验室,立即用清水清洗外皮,剔除病虫害、落地果、受伤果,选择没有机械伤的样品,每个品种取样10个,避免挤压,平铺放置于室温条件下,待用。

1.1.2 试剂

铁、铜、锰、锌、钠、钾、钙、镁、铬标准溶液 国家钢铁材料测试中心;高氯酸(优级纯)、硝酸(优级纯) 四川西陇化工有限公司;盐酸、硫酸铜等试剂(均为分析纯) 成都市科龙化工试剂厂。

1.2 仪器与设备

Z-2000型原子吸收分光光度计(配有火焰、石墨炉原子化器) 日本日立公司;Milli-Q Reference纯水仪 美国Millipore公司;SB-5200DTN超声波清洗机 宁波新芝生物科技股份有限公司;RE-5203旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂;DT306-HG-5A型火焰光度计(K、Na测定仪) 北京百万电子科技中心;高速冷冻离心机 赛默飞世尔科技公司;KDN-04B凯氏定氮仪 浙江托普仪器有限公司;UV-3200紫外-可见分光光度计 上海美谱达仪器有限公司;手持阿贝折光仪 成都光学厂;BSA-124S-CW型电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司;可调式电热板 北京中兴伟业仪器有限公司;DHG-9245A型电热恒温鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;果蔬榨汁机、200A-1摇摆式高速万能粉碎机 永康市云达冷风机厂;SHB-III循环水式多用真空泵 上海比朗仪器有限公司;HH-4数显恒温水浴锅 常州奥华仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 感官指标的测定

单果质量:称量法;可食率/%=(单果汁胞(砂囊)质量/单果质量)×100;果实横径:游标卡尺测定法。

1.3.2 理化指标

可溶性固形物含量:采用折光法;VC含量:采用2,6-二氯酚滴定法;总糖含量:采用HCl转化铜还原-直接滴定法;酸度:参考GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》;黄酮含量:参考张仪等^[24]方法;还原糖含量:参考GB/T 5009.7—2008《食品中还原糖的测定》。

1.3.3 元素分析

1.3.3.1 测定依据

GB/T 5009.92—2003《食品中钙的测定》;GB/T 5009.90—2003《食品中铁、镁、锰的测定》;GB/T 5009.14—2003《食品中锌的测定》;GB/T 5009.13—2003《食品中铜的测定》;GB/T 5009.91—2003《食品中钾、钠的测定》;GB/T 5009.123—2003《食品中铬的测定》。

1.3.3.2 样品消化

精确称取均匀经过干燥粉碎过80目塞的干样0.5g,加入混合酸(高氯酸:硝酸=1:4)消化液20mL,上盖小漏斗。置于电热板上加热消化。如未消化好而酸液过少时,再补加10mL硝酸,继续加热消化,直至无色透明为止。再加10mL水,加热除去多余的硝酸。待小锥形瓶中的液体接近2~3mL时,取下冷却。用去离子水洗并转移到50mL容量瓶中,加水定容至刻度。

1.3.3.3 柚子中矿质元素的含量计算

$$A = \frac{C_0 \times V}{m}$$

式中:A为柚子中矿质元素的含量/(mg/kg);
 C_0 为原子吸收分光光度计测得柚子中元素的质量浓度/($\mu\text{g/mL}$); V 为稀释体积,50mL; m 为柚子样品质量/g。

1.4 数据处理

对数据进行方差分析,Duncan's多重比较及相关分析,分析不同柚子品种感官指标及其理化指标差异及变化;对矿质元素数据采用方差分析、主成分分析直观了解矿质元素对地域的分类结果。主成分分析是在保留尽可能多的原始数据的信息的基础上将测量变量转换成新的、较少的变量的方法,是一种投影和降维的方法^[25]。

2 结果与分析

2.1 不同产地柚子的感官指标分析

对不同产地柚子品种的单果质量、可食率、果实横径3性状按单因素完全随机的分析方法进行方差分析,结果见表1。

表 1 不同产地柚子品种形态性状的方差分析
Table 1 Analysis of variance for morphological traits of different grapefruit varieties from different geographic origins

变异来源	单果质量/kg					可食率/%					果实横径/cm				
	SS	DF	MS	F	Sig	SS	DF	MS	F	Sig	SS	DF	MS	F	Sig
品种组间	0.65	7	0.09	8.77	0.08	0.13	7	0.02	42.16	0.00	44.63	7	6.38	52.54	0.00
误差	0.17	16	0.01			0.01	16	0.00			1.94	16	0.12		
总变异	0.83	23				0.14	23				46.57	23			

由表1可见，不同品种间的可食率和果实横径有显著差异（ $P<0.05$ ），而单果质量在不同品种间差异不显著。对可食率和果实横径两性状在不同品种下的平均数作进一步的多重比较（Duncan's多重比较分析），结果见表2。

表 2 不同产地柚子品种形态性状的差异显著性比较
Table 2 Significant differences in morphological traits of different grapefruit varieties from different geographic origins

产地	品种	单果质量/kg	可食率/%	果实横径/cm
四川	垫江红柚	0.76 ^d	0.40 ^f	12.07 ^f
四川	广安龙安柚	1.29 ^a	0.46 ^e	14.77 ^c
四川	强德勒红柚	1.01 ^{bc}	0.50 ^d	14.70 ^c
重庆	三元红柚	1.04 ^{bc}	0.52 ^d	14.00 ^{de}
重庆	白市柚	0.94 ^c	0.56 ^c	13.47 ^c
重庆	五布红柚	1.15 ^{ab}	0.58 ^{bc}	16.94 ^a
重庆	邻水红柚	0.97 ^{bc}	0.61 ^{ab}	14.37 ^{cd}
福建	琯溪蜜柚	1.27 ^a	0.63 ^a	15.75 ^b

注：同列右肩字母不同表示差异显著（ $P<0.05$ ）。下同。

由表2进一步分析可知，可食率以琯溪蜜柚和邻水红柚最大，三元红柚和广安龙安柚可食率显著小于其他品种；不同品种果实横径间差异显著，其中横径最大的是五布红柚（16.94 cm），横径最小的是垫江红柚（12.07 cm）；单果质量性状各品种间差异不显著。由以上结果可知，在柚子果实外形特征上，可食率和果实横径在不同品种之间的差异显著性较大，但这两个特征性状之间没有显著联系。从不同产地进行比较，结果表明可食率能够较好地地区分产地。

2.2 不同产地柚子的理化指标分析

对柚子果实的可溶性固形物、VC含量、总糖含量、还原糖含量、黄酮含量、酸度6种性状进行单因素完全随机的方差分析方法进行分析，结果见表3。

由表3的F检验可知，可溶性固形物及总糖含量两性状在不同品种柚子果实中没有显著差异，而VC、还原糖、黄酮含量和酸度有较显著差异。因此，对VC、还原糖、黄酮含量和酸度4种性状进行进一步多重比较分析，结果见表4。

表 3 不同产地柚子品种理化性状的方差分析
Table 3 Analysis of variance for physical and chemical properties of different grapefruit varieties from different geographic origins

变异来源	可溶性固形物含量/%					VC含量/(mg/100 g)					总糖含量/%					酸度/%					黄酮含量/(μg/g)					还原糖含量/%				
	SS	DF	MS	F	Sig	SS	DF	MS	F	Sig	SS	DF	MS	F	Sig	SS	DF	MS	F	Sig	SS	DF	MS	F	Sig	SS	DF	MS	F	Sig
品种组间	12.39	7	1.77	3.14	0.06	1181.64	7	168.8	176.03	0.00	12.38	7	1.77	11.78	0.08	1.14	7	0.16	41.02	0.00	264.795	7	37.828	25.57	0.00	8.26	7	1.18	26.8	0.00
误差	9.01	16	0.56			15.34	16	0.9			2.40	16	0.15			0.06	16	0.00			23.667	16	1.479			0.70	16	0.04		
总变异	21.40	23				1196.98	23				14.78	23				1.20	23				287.462	23				8.96	23			

表 4 不同产地柚子品种理化性状的差异显著性比较
Table 4 Significant difference in physical and chemical properties of different grapefruit varieties from different geographic origins

产地	品种	可溶性固形物含量/%	VC含量/(mg/100 g)	总糖含量/%	酸度/%	黄酮含量/(μg/g)	还原糖含量/%
四川	广安龙安柚	11.7 ^a	49 ^a	9.18 ^a	0.70 ^b	500 ^a	4.25 ^a
四川	垫江红柚	10.6 ^{ab}	48 ^a	7.29 ^b	0.89 ^a	183 ^d	2.93 ^{de}
四川	强德勒红柚	9.5 ^b	43 ^b	7.40 ^b	0.73 ^b	366 ^b	2.59 ^{ef}
重庆	白市柚	9.8 ^b	41 ^c	7.75 ^b	0.15 ^c	260 ^c	2.97 ^d
重庆	邻水红柚	9.5 ^b	39 ^d	7.77 ^b	0.71 ^b	233 ^{cd}	2.50 ^f
重庆	五布红柚	9.7 ^b	37 ^e	7.47 ^b	0.92 ^a	167 ^d	3.58 ^{bc}
重庆	三元红柚	10.2 ^b	35 ^f	8.72 ^a	0.61 ^b	380 ^b	3.90 ^{ab}
福建	琯溪蜜柚	10.7 ^{ab}	26 ^g	9.01 ^a	0.67 ^b	300 ^c	3.42 ^c

由表4可见，不同品种柚子果实的VC含量具有显著性差异，且广安龙安柚的VC含量最高，琯溪蜜柚含量最低。酸度含量以五布红柚为最高，白市柚为最低，且变化范围在0.15%~0.92%。黄酮含量差异显著，其中广安龙安柚含量最高，为500 μg/g。还原糖含量两两间的差异较小，其中广安龙安柚的还原糖含量最高，邻水红柚含量最低。可溶性固形物含量变化幅度9.5%~11.7%，其中龙安柚含量最高。总糖含量的变化幅度7.29%~9.18%，也以广安龙安柚含量最高。由多重比较分析可看出，8个柚子品种理化指标含量有其各自的特征。同时从品种显著性较大的4种性状中可发现，VC含量能够有效区分不同产地的柚子。

2.3 不同产地柚子果皮的元素指纹分析

2.3.1 柚子果皮中元素含量差异分析

对3个产地的8个品种的柚子中的9种元素进行单因素方差分析。结果表明，9种元素中除Cu、K元素外，其他7种元素在不同品种中存在显著差异（ $P<0.05$ ），再对其进行多重比较分析，结果表明不同品种的柚子样品的元素含量具有各自的特征。

2.3.2 柚子果皮中元素含量的主成分分析

对品种之间存在显著差异的7种元素进行主成分分析，结果如表5所示，前3个主成分的累计方差贡献率达到86.38%。从主成分的特征向量中可以看出，第1主成分主要综合了柚子果皮样品的Ca、Fe、Na和Cr 4种元素含量信息，第2主成分主要综合了样品中Mg和Zn元素的含量信息，第3主成分主要综合了样品中Mn元素的含量信息。

表5 前3个主成分中各变量的特征向量及累计方差贡献率
Table 5 Eigenvectors and cumulative variance contribution ratio of the first three principal components

元素	主成分1	主成分2	主成分3
Ca	0.87	-0.34	0.21
Mg	-0.27	0.76	0.57
Fe	0.84	0.02	0.26
Mn	0.62	0.08	-0.76
Zn	0.34	-0.73	0.47
Na	0.74	0.65	0.03
Cr	-0.70	-0.30	-0.07
方差贡献率/%	43.74	25.13	17.51
累计贡献率/%	43.74	68.87	86.38

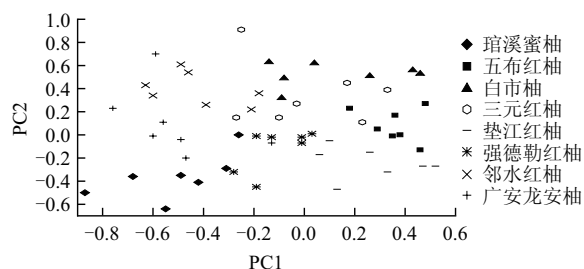


图1 第1和第2主成分得分散点图
Fig.1 Scatter plot of PC1 and PC2

利用第1主成分和第2主成分的标准化得分作散点图(图1), 结果表明, 通过第1和第2主成分得分可大致区分不同柚子品种。五布红柚、垫江红柚的第1主成分得分均为正值, 琯溪蜜柚、邻水红柚、广安龙安柚3个品种的第1主成分得分均为负值, 白市柚、邻水红柚、三元红柚的第2主成分得分均为正值, 琯溪蜜柚、强德勒红柚、垫江红柚的第2主成分得分均为负值, 五布红柚、广安龙安柚的第2主成分得分既有正值, 又有负值。这与元素含量差异分析的规律大致相同。第1主成分主要综合了柚子果皮样品中Ca、Fe、Na和Cr含量信息, 而五布红柚、垫江红柚2个品种在这几种元素的含量在所有样品中均表现最高; 第2主成分主要综合了柚子果皮中Mg和Zn的含量信息, 而白市柚、邻水红柚、三元红柚中这2个元素在所有品种中的含量最高。并可明显观察到, 3个产地的柚子品种被第2主成分分为了上、中、下3个区域, 分别为重庆、四川、福建。

3 讨论与结论

从感官分析和理化指标分析可知, 了解了不同品种柚子的一般品质差异, 不同品种间存在显著差异($P<0.05$)的有可食率、果实横径、VC含量、酸度、还原糖含量、黄酮含量6个指标。再从这些指标中筛选出能代表产地特征的指标, 包括可食率和VC含量。可食率大

致范围分别是四川0.40%~0.50%、重庆0.52%~0.61%、福建0.63%左右。VC含量分别是四川43~49 mg/100 g、重庆35~41 mg/100 g、福建26 mg/100 g左右。

主成分分析能将3个产地的柚子品种明显的区分开。重庆产地的4种柚子品种的第2主成分得分均为正值, 四川产地的3种柚子的第2主成分得分在-0.4~0.0之间, 而福建产地的柚子第2主成分得分主要在一0.8~-0.4之间。由此可见, 主成分分析把样品中多种元素的信息运用较直观的方式综合性地表现出来。可以根据元素成分明显地区分不同产地的柚子品种。

本实验对柚子的感官指标分析和化学成分分析能了解其基本成分差异并大致判别其地域差异, 同时结合多元素指纹分析能够提高柚子原产地的判别效果。这种综合的方法同样适用于多种水果、蔬菜的原产地溯源工作。

参考文献:

- [1] 郭波莉, 魏益民, 潘家荣. 同位素指纹分析技术在食品产地溯源中的应用进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 284-289.
- [2] HEATON K, KELLY S D, HOOGEWERFF J, et al. Verifying the geographical origin of beef: the application of multi-element isotope and trace element analysis[J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 506-515.
- [3] 王慧文, 杨曙明, 程永友. 鸡肉中稳定同位素组成与饲料和饮水关系的研究[J]. 分析科学学报, 2008, 24(1): 47-50.
- [4] 黄朝晖, 陆平, 孟宪军, 等. 不同产地高粱的原花青素含量测定及其抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2008, 29(9): 140-143.
- [5] SUZUKI Y, CHIKARAISHI Y, OGAWA N O, et al. Geographical origin of polished rice based on multiple element and stable isotope analyses[J]. Food Chemistry, 2008, 109(2): 470-475.
- [6] KÜÇÜK M, KOLAYLI S, KARAOGLU S, et al. Biological activities and chemical composition of three honeys of different types from Anatolia[J]. Food Chemistry, 2007, 100(2): 526-534.
- [7] RASPOR P, MILEK D M, POLANC J, et al. Yeasts isolated from three varieties of grapes cultivated in different locations of the Dolenjska vine-growing region, Slovenia[J]. International Journal of Food Microbiology, 2006, 109(1/2): 97-102.
- [8] REZZI S, AXELSON D E, HEBERGER K, et al. Classification of olive oils using high throughput flow ^1H NMR fingerprinting with principal component analysis, linear discriminant analysis and probabilistic neural networks[J]. Analytica Chimica Acta, 2005, 552(1/2): 13-24.
- [9] SÁDECKÁ J, TÓTHOVÁ J, MÁJEK P. Classification of brandies and wine distillates using front face fluorescence spectroscopy[J]. Food Chemistry, 2009, 117(3): 491-498.
- [10] SUN Shumin, GUO Boli, WEI Yimin, et al. Multi-element analysis for determining the geographical origin of mutton from different regions of China[J]. Food Chemistry, 2011, 124 (3): 1151-1156.
- [11] KITTA K, EBIHARA M, IIZUKA T, et al. Variations in lipid content and fatty acid composition of major non-glutinous rice cultivars in Japan[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2005, 18(4): 269-278.
- [12] GAUTHIER P, GOUESNARD B, DALLARD J, et al. RFLP diversity and relationships among traditional European maize populations[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2002, 105(1): 91-99.

- [13] FRANKE B M, HALDIMANN M, REIMANN J, et al. Indications for the applicability of element signature analysis for the determination of the geographic origin of dried beef and poultry meat[J]. *European Food Research and Technology*, 2007, 225(3/4): 501-509.
- [14] BONG Y-S, GAUTAM M K, LEE K-S. Origin assessment of domestic and imported beef sold in the Korean markets using stable carbon and oxygen isotopes[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2012, 21(1): 233-237.
- [15] 郭波莉, 魏益民, 潘家荣, 等. 碳、氮同位素在牛肉产地溯源中的应用研究[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(2): 365-372.
- [16] 郭波莉, 魏益民, 潘家荣, 等. 多元素分析判别牛肉产地来源研究[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(12): 2842-2847.
- [17] 孙淑敏, 郭波莉, 魏益民, 等. 稳定性氢同位素在羊肉产地溯源中的应用[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(24): 5050-5057.
- [18] CAMIN F, BONTEMPO L, HEINRICH K, et al. Multi-element (H,C,N,S) stable isotope characteristics of lamb meat from different European regions[J]. *Analytical & Bioanalytical Chemistry*, 2007, 389(1): 309-320.
- [19] LONGOBARDI F, VENTRELLA A, CASIELLO G, et al. Characterisation of the geographical origin of Western Greek virgin olive oils based on instrumental and multivariate statistical analysis[J]. *Food Chemistry*, 2012, 133(1): 169-175.
- [20] RASTIJA V, SRECNIK G, MARICA-MEDIC-ŠARIĆ. Polyphenolic composition of Croatian wines with different geographical origins[J]. *Food Chemistry*, 2009, 115(1): 54-60.
- [21] YÜCEL Y, SULTANOGLU P. Characterization of Hatay honeys according to their multi-element analysis using ICP-OES combined with chemometrics[J]. *Food Chemistry*, 2013, 140(1/2): 231-237.
- [22] GEANA I, IORDACHE A, IONETE R, et al. Geographical origin identification of Romanian wines by ICP-MS elemental analysis[J]. *Food Chemistry*, 2013, 138(2/3): 1125-1134.
- [23] RODRIGUES S M, OTERO M, ALVES V V, et al. Elemental analysis for categorization of wines and authentication of their certified brand of origin[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2011, 24(4/5): 548-562.
- [24] 张怡, 曾绍校, 郑宝东. 柚子皮总黄酮提取工艺的研究[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(14): 100-103.
- [25] WOLD S, ESBENSEN K, GELADI P. Principal component analysis[J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 1987, 2(1/3): 37-52.