

文章编号:1001-6880(2016)12-1936-07

HPLC 法同时测定柠檬中 6 种水溶性维生素含量

涂勋良,寇 芯,马晓丽,关 眇,黄本义,吕秀兰*

四川农业大学园艺学院,成都 611130

摘要:本研究以 7 个不同品种柠檬为材料,采用高效液相色谱(HPLC)法对不同品种柠檬中 6 种水溶性维生素(VB1、VB3、VB6、VB9、VB12 和 VC)含量进行同时测定。样品前处理后,经 Agilent Zorbax Eclipse XDB-C₁₈ 色谱柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm)分离,以 0.1% 磷酸水溶液(A)-乙腈(B)为流动相进行梯度洗脱,流速为 0.9 mL/min;柱温为 30 °C,在波长 267 nm 处检测。结果表明,6 种水溶性维生素在 17 min 内完全分离,在 0.06 ~ 49.60 μg/mL ($R^2 = 0.9999 \sim 1.0000$) 呈良好的线性关系,检出限为 0.03 ~ 0.27 μg/mL, 定量限为 0.08 ~ 0.82 μg/mL, 平均回收率为 99.06% ~ 101.72%, RSD 为 0.49% ~ 0.98%。进一步用该方法对 7 个不同品种柠檬样本进行检测,结果显示柠檬样本中 VC 含量远高于 B 族维生素含量,S_NM 中 VC 含量最高(57.96 ± 0.56 mg/100 g), EUR_D 中 VC 含量最低(27.37 ± 0.27 mg/100 g)。主成分分析揭示了不同柠檬果汁中水溶性维生素的相似性和差异性。S_NM 的综合评价指数高于其他 6 个样品且 EUR_D 的综合评价指数远低于 EUR_C 和 EUR_Y。该方法操作简单,精密度、重复性、稳定性好及回收率高,可有效检测柠檬中多种水溶性维生素的含量;7 个品种柠檬果汁中维生素含量差异显著;主成分值可为柠檬中维生素指标提供理论依据。

关键词: 柠檬;水溶性维生素;高效液相色谱;同时测定;主成分分析

中图分类号:Q946.6

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2016.12.015

Simultaneous Determination of Six Water-Soluble Vitamins in Lemon by High Performance Liquid Chromatography

TU Xun-liang, KOU Xin, MA Xiao-li, GUAN Jv, HUANG Ben-yi, LV Xiu-lan*

College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

Abstract: In this study, the content of water-soluble vitamins in juice of 7 different lemon varieties were simultaneously determined using high performance liquid chromatography (HPLC). The chromatographic separation was carried out on a ZORABX SB-C₁₈ column (250 mm × 4.6 mm I. D., 5 μm) using 0.1% phosphoric acid aqueous solution-acetonitrile as mobile phases at a flow rate of 0.9 mL/min kept at 30 °C through gradient elution and detection wavelength was 267 nm. The results indicated that six water-soluble vitamins were thoroughly separated within 17 min. This method exhibited a linear range from 0.06 to 49.60 μg/mL with the correlation coefficients above 0.9999. The limits of detection (LOD, $S/N = 3$) ranged from 0.03 to 0.27 μg/mL, and the limits of quantification (LOQ, $S/N = 10$) ranged from 0.08 to 0.82 μg/mL. The average recovery rates ranged from 99.06% to 101.72% with RSD between 0.49% and 0.98%. The results indicated that vitamin C was the major component in seven lemon varieties, the content of vitamin C was the highest in R_NM juice (57.96 ± 0.56 mg/100 g) and the lowest in EUR_D juice (27.37 ± 0.27 mg/100 g). The similarities and differences of water-soluble vitamins in different lemon juice were revealed by principal component analysis. The comprehensive evaluation index of S_NM was higher than other six samples, and EUR_D was lower than EUR_C and EUR_Y.

Key words: lemon; water-soluble vitamins; high performance liquid chromatography; simultaneous determination; principal component analysis

维生素是维持机体正常生理机能不可或缺的营

养物质,它们与机体生长发育和能量代谢等过程密切相关,无法满足机体需要的部分维生素必须从食物中摄取。根据维生素的溶解性可分为脂溶性和水溶性两大类。研究表明,维生素具有抗氧化^[1]、诱导基因表达^[2]、抗癌^[3]、抗动脉硬化^[4]等多种生物活

收稿日期:2016-06-22 接受日期:2016-08-31

基金项目:四川省科技支撑计划(2013FZ0036);国家现代农业产业技术体系四川创新团队专项资金

* 通讯作者 Tel:86-018608352199;E-mail:xllvjj@163.com

性,是食品化学研究的热点之一。

目前,水溶性维生素在食品研究领域已有国际标准^[5-8]。水溶性维生素通常采用单独分析或微生物法^[5]、免疫分析法^[10]、气相色谱^[11]和高效液相色谱等方法。Kafkas 等^[12]采用 HPLC 法对 3 个柑橘种中 12 个品种果汁中糖、酸和 VC 进行了定量测定,结果表明不同种类及品种柑橘果汁中糖、酸和 VC 含量有差异,柚汁和巴伦西亚橘汁中 VC 含量明显高于橙汁和其他品种的橘汁。Gazdik 等^[13]采用 HPLC-ED 测定酸橙果实中的 VC 含量为 30~56 mg/100 g,苹果中 VC 含量为 11~19 mg/100 g。Nisperos-Carriedo 等^[14]采用 HPLC 同时测定了 7 种柑橘果汁中脱氢 VC 含量为 0~3.9 mg/100 g,VC 含量为 29.1~63.4 mg/100 g。Nazmul 等^[15]采用 HPLC 同时测定了 5 类叶用蔬菜中的 4 种水溶性维生素,在 12 min 内完全分离,VB2 在青苋叶、VB3 在苦瓜叶、VB6 在瓠瓜叶中的含量最高。

柠檬 (*Citrus limon* L.) 是一种富含维生素的水果,100 g 柠檬含有 VC 53 mg 以及少量 B 族维生素。采用 HPLC 法测定水溶性维生素,样品用量少且前处理简单,分离速度快,能一次性完成多种水溶性维生素的测定。因此,建立快速、有效检测柠檬中多种

维生素的方法对提升柠檬果品营养价值和资源综合评价起到重要意义。为了加快柠檬产业化发展,本研究以不同产地和不同品种柠檬成熟果实为材料,利用高效液相色谱法对 6 种水溶性维生素 (VC、VB1、VB3、VB6、VB9 和 VB12) 进行定性、定量分析,并探讨不同柠檬中的变化差异,为柠檬中多指标的质量控制、品种鉴定以及资源开发利用提供参考和理论依据,以期提高柠檬的综合利用价值。

1 材料与方法

1.1 材料

尤力克柠檬采自四川安岳、云南瑞丽、广东河源当地高产优质示范基地,无核柠檬采自广东连南高产优质示范基地,里斯本、北京柠檬、粗柠檬采自中国农业科学院柑桔研究所国家柑桔种质资源圃(重庆),样品经中国农业科学院柑桔研究所江东副研究员鉴定。每个品种选取 5 株长势、树形基本一致的成年结果树,从每株树冠东、南、西、北、中 5 个方向采摘 5 个处于同一成熟度的成熟果实,按各品种进行混合,带回实验室-20 ℃ 低温贮藏。样品信息见表 1。

表 1 柠檬样品信息表

Table 1 Information of lemon samples

产地 Producing area	样品 Sample	编码 Code	采收期 Harvest time
四川安岳	尤力克柠檬	EUR_C	2015-10-22
云南瑞丽	尤力克柠檬	EUR_D	2015-08-31
广东河源	尤力克柠檬	EUR_Y	2015-09-18
广东连南	无核柠檬	S_NM	2015-09-21
重庆北碚	里斯本柠檬	LSB	2015-10-30
重庆北碚	北京柠檬	M_NM	2015-10-30
重庆北碚	粗柠檬	R_NM	2015-10-30

1.2 仪器

LC-20A 高效液相色谱仪 (Shimadzu Co., Japan),配备 DGU-20A3 在线脱气机、SPD-20A 紫外检测器、LC-20AB 高压输液泵、CTO-10AS 柱温箱和 SIL-20A 自动进样器; UPH-II-20T 超纯水机(四川沃特尔水处理设备有限公司); BT124S 电子天平 (Sartorius, Germany); 手动榨汁器。

1.3 试剂

标准对照品 VC (Vitamin C)、VB1 (Vitamin

B1)、VB3 (Vitamin B3)、VB6 (Vitamin B6)、VB9 (Vitamin B9) 和 VB12 (Vitamin B12), 纯度均在 98% 以上, 购自成都安雅科技有限公司; 乙腈、甲醇均为色谱纯, 购自美国 Fisher 公司; 磷酸为分析纯, 购自成都市科龙化工试剂厂; 超纯水自制。

1.4 样品制备

参照 Okwu 等^[16]的方法稍作改进。采用压榨法制取新鲜柠檬果汁,用双层纱布过滤后备用,吸取一定量的果汁置于带塞三角瓶中,加入 0.1% 磷酸

水溶液稀释至 20 mL, 超声 15 min, 取上清液经 0.22 μm 微孔有机滤膜过滤后, 进样测定。

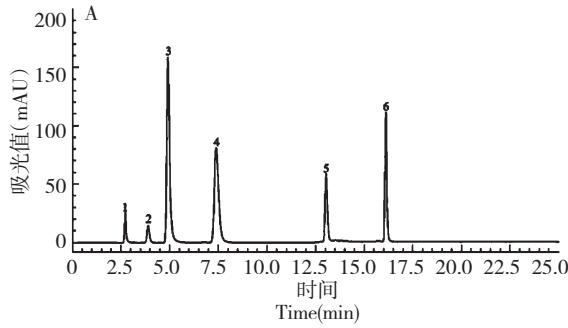
1.5 标准溶液的配制

准确称取 VB1 4.14 mg、VB3 6.42 mg、VB6 6.02 mg、VB9 5.50 mg、VB12 5.60 mg 和 VC 4.96 mg 于 10 mL 棕色容量瓶中, 用甲醇溶解并定容至刻度线, 作为混合标准品储备溶液, -20 ℃ 保存备用。

1.6 液相色谱条件

色谱柱: Agilent Eclipse XDB-C₁₈ (250 mm × 4.6 mm, 5 μm); 流动相 A: 0.1% 磷酸水溶液; 流动相 B: 乙腈; 进样体积 10 μL; 流速 0.9 mL/min; 柱温 30 ℃; 检测波长: 267 nm。

梯度洗脱程序: 0 ~ 5 min, 1% B; 5 ~ 10 min, 1% ~ 20% B; 10 ~ 20 min, 20% B; 20 ~ 22.5 min,



1. VC; 2. VB3; 3. VB1; 4. VB6; 5. VB9; 6. VB12

20% ~ 70% B; 22.5 ~ 25 min, 70% ~ 1% B。

1.7 数据分析

采用 EXCEL 2016 进行数据统计, SPSS 23.0 进行方差分析 (Analysis of Variance, 简称 ANOVA) 和主成分分析 (Principal components analysis, 简称 PCA)。

2 结果与分析

2.1 HPLC 方法学考察

在优化后的色谱条件下, 混合标准品中各水溶性维生素分离度均大于 1.8, 分离效果极佳, 且目标峰形尖锐, 对称性好, 能够满足多种水溶性维生素的同时分离, 如图 1 所示。

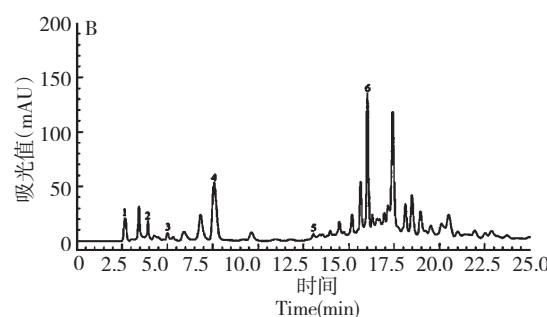


图 1 6 种水溶性维生素混合对照品溶液 (A) 和样品溶液 (B) 的 HPLC 色谱图

Fig. 1 HPLC chromatograms of mixed standards of six water-soluble vitamins (A) and S_NM sample (B)

2.1.1 线性关系及检出限、定量限测定

精确吸取各维生素储备液配制成不同浓度梯度的标准溶液, 按已经建立好的色谱条件进样分析。以峰面积为纵坐标 (Y), 标准溶液的浓度 ($\mu\text{g}/\text{mL}$) 为横坐标 (X), 绘制标准曲线, 计算标准曲线的回归

方程及相关系数, 见表 2。由表 2 可知, VC、VB1、VB3、VB6、VB9 和 VB12 标准品浓度与相应峰面积呈良好的线性关系。各维生素单体的检出限在 0.03 ~ 0.27 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 定量限在 0.08 ~ 0.82 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 表明此方法灵敏度较高。

表 2 6 种水溶性维生素的线性关系、检出限和定量限

Table 2 Linear regression, limits of detection (LOD) and limits of quantification (LOQ) of the six water-soluble vitamins

维生素 Vitamins	回归方程 Regression equations	相关系数 Correlation coefficient (R^2)	线性范围 Linear range ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	检出限 LOD ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	定量限 LOQ ($\mu\text{g}/\text{mL}$)
VC Vitamin C	$Y = 14999.06 X + 4668.413$	0.9999	0.50 ~ 49.60	0.27	0.82
VB1 Vitamin B1	$Y = 164449.1 X + 8843.471$	0.9999	0.28 ~ 28.00	0.16	0.50
VB3 Vitamin B3	$Y = 12397.23 X + 4842.827$	1.0000	0.06 ~ 6.42	0.04	0.11
VB6 Vitamin B6	$Y = 128006.2 X - 5811.897$	1.0000	0.08 ~ 8.28	0.05	0.14
VB9 Vitamin B9	$Y = 47747.76 X - 1750.137$	1.0000	0.06 ~ 6.02	0.03	0.08
VB12 Vitamin B12	$Y = 74834.26 X - 9883.498$	1.0000	0.11 ~ 11.00	0.06	0.19

2.1.2 精密度实验

在 1.6 的色谱条件,将同一混合标准溶液连续进样 6 次,记录峰面积,计算各维生素含量及相对标准偏差 RSD。结果显示测得 VC、VB1、VB3、VB6、VB9 和 VB12 色谱峰面积的 RSD 分别为 1.81%、0.48%、1.05%、0.67%、0.81%、1.90%,表明该仪器具有较高的精密度。

2.1.3 重复性实验

平行制备 6 份 EUR_C 果汁溶液,在 1.6 的色谱条件重复进样 6 次,记录峰面积,计算各维生素含量及 RSD。结果显示 6 种水溶性维生素含量的 RSD 均小于 3.0%,表明该方法具有良好的重复性。

表 3 EUR_C 果汁中水溶性维生素加样回收率结果
Table 3 Recoveries of six water-soluble vitamins in EUR_C juice

维生素 Vitamins	样品含量 Contents in sample (mg/g)	添加量 Added (mg/g)	测得量 Founded (mg/g)	回收率 Recovery (%)	RSD (%)
维生素 C Vitamin C	0.488	0.496	0.993	100.91	0.98
维生素 B1 Vitamin B1	0.012	0.041	0.053	99.06	0.69
维生素 B3 Vitamin B3	0.027	0.064	0.090	99.45	0.49
维生素 B6 Vitamin B6	0.014	0.060	0.074	99.73	0.66
维生素 B9 Vitamin B9	0.002	0.006	0.008	100.52	0.77
维生素 B12 Vitamin B12	0.004	0.006	0.010	101.72	0.79

2.2 样品中水溶性维生素的含量测定

按照 1.5 的方法制备样品溶液,在 1.6 的色谱

条件下,对 7 个品种的维生素组分进行定量和方差分析,测定结果见表 4。

表 4 不同样品中 6 种水溶性维生素的含量

Table 4 Content of the six water-soluble vitamins in different samples

样品 Samples	成分含量 Content of compounds (mg/100 g)					
	维生素 C vitamin C	维生素 B3 vitamin B3	维生素 B1 vitamin B1	维生素 B6 vitamin B6	维生素 B9 vitamin B9	维生素 B12 vitamin B12
EUR_C	48.79 ± 0.47 Dd	2.70 ± 0.03 Dd	1.25 ± 0.01 Dd	1.38 ± 0.01 Aa	0.23 ± 0.002 Bb	0.42 ± 0.004 Gg
EUR_D	27.37 ± 0.27 Ff	0.80 ± 0.01 Gg	1.60 ± 0.02 Bb	0.89 ± 0.01 Cc	0.29 ± 0.003 Aa	0.58 ± 0.01 Dd
EUR_Y	55.91 ± 0.54 Bb	3.35 ± 0.03 Bb	1.56 ± 0.02 Cc	1.28 ± 0.01 Bb	0.23 ± 0.002 Bb	0.46 ± 0.004 Ff
S_NM	57.96 ± 0.56 Aa	4.32 ± 0.04 Aa	1.12 ± 0.01 Dd	0.87 ± 0.01 Dd	0.20 ± 0.002 Cc	0.61 ± 0.01 Cc
LSB	52.14 ± 0.51 Cc	2.99 ± 0.03 Cc	1.04 ± 0.01 Ee	0.63 ± 0.01 Ee	0.23 ± 0.002 Bb	0.54 ± 0.01 Ee
M_NM	38.86 ± 0.38 Ee	1.41 ± 0.01 Ee	2.47 ± 0.02 Aa	0.58 ± 0.01 Ff	0.19 ± 0.002 Dd	2.10 ± 0.02 Aa
R_NM	57.44 ± 0.56 Aa	0.88 ± 0.01 Ff	1.23 ± 0.01 Dd	0.59 ± 0.01 Ff	0.28 ± 0.003 Aa	0.76 ± 0.01 Bb

注:同一列数值后小写字母表示 0.05 水平差异显著;大写字母表示 0.01 水平差异极显著。

Note: Values followed by different lowercase letters within the same column indicated significant difference at $P = 0.05$; Values followed by different uppercase letters within the same column indicated extremely significant difference at $P = 0.01$.

由表 4 可知,不同柠檬果汁中 6 种水溶性维生素含量存在显著差异,7 种柠檬果汁中 VC 含量远高于 B 族维生素含量。在 7 种柠檬果汁中,VC 的含

2.1.4 稳定性实验

平行制备 6 份 EUR_C 果汁溶液,在 1.6 的色谱条件,分别于 0、2、4、6、8、12 和 24 h 后测定,计算各维生素含量的 RSD。结果显示 6 种水溶性维生素含量的 RSD 值均小于 3.0%,表明样品溶液在 24 h 内稳定。

2.1.5 加标回收率实验

定量吸取 6 份已知 6 种水溶性维生素含量的 EUR_C 果汁,并按 1.5 的方法制备样品,分别定量添加各维生素标准溶液后测定。计算各维生素含量及相应回收率(表 3),各维生素的平均回收率为 99.06% ~ 101.72%,RSD 为 0.49% ~ 0.98%。

量为 $27.37 \pm 0.27 \sim 57.96 \pm 0.56 \text{ mg/100g}$, S_NM 中含量最高; VB3 的含量为 $0.80 \pm 0.01 \sim 4.32 \pm 0.04 \text{ mg/100g}$, S_NM 中含量最高; VB1 的含量为

$1.04 \pm 0.01 \sim 2.47 \pm 0.02 \text{ mg}/100 \text{ g}$, M_NM 中含量最高; VB6 的含量为 $0.58 \pm 0.01 \sim 1.38 \pm 0.01 \text{ mg}/100 \text{ g}$, EUR_C 中含量最高; VB9 的含量为 $0.19 \pm 0.002 \sim 0.29 \pm 0.003 \text{ mg}/100 \text{ g}$, EUR_D 中含量最高; VB12 的含量为 $0.46 \pm 0.004 \sim 2.10 \pm 0.02 \text{ mg}/100 \text{ g}$, M_NM 中含量最高。

2.3 主成分分析对不同样品的综合评价

主成分分析是多元统计中的一种简化数据集的

分析技术。主成分的特征根和贡献率是选择主成分的依据,将不同柠檬果汁中 6 个成分的测定结果进行主成分分析。由表 5 可看出,前 3 个主成分的特征值均大于 0.9,其累积贡献率达 93.91%,表明前 3 个主成分能够较客观地反映不同柠檬果汁的 6 个成分信息,因此选取前 3 个主成分作为样品选择的综合指标。

表 5 样品主成分的总方差解释

Table 5 Total variance explained of principal components in samples

主成分 PRIN	初始特征值 Initial Eigenvalues			提取载荷平方和 Extraction Sums of Squared Loadings		
	特征值 Eigenvalue	贡献率 Proportion (%)	累积贡献率 Cumulative (%)	特征值 Eigenvalue	贡献率 Proportion (%)	累积贡献率 Cumulative (%)
PRIN 1	2.84	47.30	47.30	2.84	47.30	47.30
PRIN 2	1.82	30.25	77.55	1.82	30.25	77.55
PRIN 3	0.98	16.35	93.91	0.98	16.35	93.91
PRIN 4	0.31	5.16	99.07			
PRIN 5	0.05	0.89	99.96			
PRIN 6	0.00	0.04	100.00			

表 6 样品中 6 个指标相关矩阵的特征向量

Table 6 Eigenvectors of correlation matrix of six indexes in samples

主成分 PRIN	指标 Index					
	维生素 C vitamin C	维生素 B3 vitamin B3	维生素 B1 vitamin B1	维生素 B6 vitamin B6	维生素 B9 vitamin B9	维生素 B12 vitamin B12
PRIN 1	0.71	0.75	-0.86	0.55	-0.01	-0.85
PRIN 2	0.36	0.60	0.33	-0.03	-0.98	0.49
PRIN 3	-0.45	0.08	0.32	0.80	-0.09	-0.10

根据 6 个指标相关矩阵的特征向量,可列出前 3 个主成分的函数表达式:

$$F_1 = 0.71x_1 + 0.75x_2 - 0.86x_3 + 0.55x_4 - 0.01x_5 - 0.85x_6$$

$$F_2 = 0.36x_1 + 0.60x_2 + 0.33x_3 - 0.03x_4 - 0.98x_5 + 0.49x_6$$

$$F_3 = -0.45x_1 + 0.08x_2 + 0.32x_3 + 0.80x_4 - 0.09x_5 - 0.10x_6$$

由表 6 可看出,VC、VB3 在 PRIN1 中有较大的正系数值,表明 PRIN1 主要反映了各样品中 VC 和 VB3 含量较高的特性;VB1 和 VB12 在 PRIN2 中有较大的正系数值,表明 PRIN 2 主要反映了各样品中 VB1 和 VB12 含量较高的特性;而 VB6 则在 PRIN3

中有较大的正系数值,表明 PRIN 3 主要反映了各样品中 VB6 含量较高的特性。

前 3 个主成分能够综合评价不同柠檬样品的品质,其综合评价函数为:

$$W = 0.50F_1 + 0.32F_2 + 0.17F_3$$

由表 7 可看出,S_NM 的维生素综合评价指数高于其他 6 个样品,EUR_Y 和 EUR_C 的维生素综合评价指数含量明显高于 EUR_D。

3 讨论与结论

高效液相色谱(HPLC)法是检测维生素最常用的方法之一,在饮料、饲料、医药等行业已有大量研究。宋萍萍等^[17]采用 RP-HPLC 法同时检测了果醋

表 7 样品主成分因子及综合评价
Table 7 Principal component factors and evaluated results of samples

Samples	F_1	F_2	F_3	W
EUR_C	36.00	19.54	-20.30	20.80
EUR_D	18.65	10.83	-11.11	10.90
EUR_Y	41.18	22.62	-23.44	23.85
S_NM	43.37	23.90	-24.76	25.13
LSB	38.26	20.92	-22.46	22.01
M_NM	25.05	16.48	-16.34	15.02
R_NM	40.06	21.69	-25.01	22.72

中 VC、VB1、VB2、VB3、VB6、VB12、叶酸和烟酰胺 8 种水溶性维生素的含量。李苗苗等^[18]利用 HPLC 法测定了菠萝果实中 2 种脂溶性维生素(VA、VE) 和 6 种水溶性维生素(VC、VB3、VB12、VB6、VB2、VB1) 的含量。本研究建立了同时测定柠檬果汁中 6 种水溶性维生素的高效液相色谱法,该方法采用常规的磷酸缓冲液-乙腈体系在 17 min 内即实现多种水溶性维生素的同时测定,并且操作简单,精密度、重复性、稳定性及回收率高,可作为柠檬果汁中多种水溶性维生素同时检测的常规分析手段,为柠檬果汁品质评价提供行之有效的方法和参考。

脂溶性维生素和水溶性维生素存在于不同的水果和蔬菜中。Okwu 等^[16]采用分光光度法测定了 5 个柑橘品种中 VC、VB1、VB2、VB3 的含量,发现柠檬中 VC 含量为 61.60 mg/100 g, VB1 含量为 0.08 mg/100 g, VB2 含量为 0.02 mg/100 g, VB3 含量为 0.14 mg/100 g。本研究发现 7 个品种柠檬果汁中的 VC 含量远高于 B 族维生素含量,达到 27.06 ± 0.26 ~ 57.22 ± 0.56 mg/100 g, 这与 Gazdik 等^[13]和 Nisperos-Carriedo 等^[14]的研究结果相类似; B 族维生素中 VB12 和 VB1 含量相对较高,这与 Okwu 等^[16]的研究结果相类似。目前,在柑橘研究中尚未发现同时测定多种维生素的报道,但在其他植物中不乏同时测定多种维生素的研究。Sancho 等^[19]发现不同成熟期木瓜果肉中 VC 含量为 25.1 ~ 58.6 mg/100 g, 果皮中则为 7.4 ~ 23.4 mg/100 g, 维生素含量的差异主要与品种、土壤、气候和成熟度有关^[20], 本研究能够为不同品种之间任何成分含量存在差异提供一部分佐证。

本研究以 7 个不同品种柠檬为材料,分析检测其果汁中水溶性维生素的含量,建立了同时检测 6

种水溶性维生素的 HPLC 法。结果显示不同品种柠檬果汁中水溶性维生素含量差异显著,其累积规律与品种(基因型)自身及外界环境有关;通过主成分分析,将不同柠檬品种的 6 种维生素转化为 3 个主成分,提供了 6 种维生素 93.88% 的信息,根据主成分综合评价函数式,可计算各品种的主成分值,因此,主成分值可为柠檬维生素指标提供理论依据。

参考文献

- 1 Ramful D, Tarnus E, Aruoma OI, et al. Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulps. *Food Res Int*, 2011, 44: 2088-2099.
- 2 Esteban MA, Wang T, Qin B, et al. Vitamin C enhances the generation of mouse and human induced pluripotent stem cells. *Cell Stem Cell*, 2010, 6(1): 71-79.
- 3 Yang GT, Chou PL, Hung YT. Vitamin C enhances anticancer activity in methotrexate-treated Hep3B hepatocellular carcinoma cells. *Oncol Rep*, 2014, 32: 1057-1063.
- 4 Babaev VR, Li L, Shah S, et al. Combined vitamin C and vitamin E deficiency worsens early atherosclerosis in apolipoprotein E-deficient mice. *Arterioscl Thromb Vas*, 2010, 30: 1751-1757.
- 5 GOST R EN 14130:2010, Foodstuffs-Determination of vitamin C by HPLC. Moscow, Interstandard (Russia), 2010.
- 6 EN 14122:2014, Foodstuffs-Determination of Vitamin B1 by high performance liquid chromatography. Brussels, Comite Europeen de Normalisation, 2014.
- 7 EN 14152:2014, Foodstuffs-Determination of Vitamin B2 by high performance liquid chromatography. Brussels, Comite Europeen de Normalisation, 2014.
- 8 EN 14164:2014, Foodstuffs-Determination of Vitamin B6 by high performance liquid chromatography. Brussels, Comite Europeen de Normalisation, 2014.

- 9 Kapil B, Mahesh K, Vipin S, et al. Microbiological assay for vitamin B. *Int Res J Pharm*, 2012, 3(2):74-82.
- 10 Zhu QZ, Aller RC, Kaushik A. Analysis of vitamin B12 in seawater and marine sediment porewater using ELISA. *Limnol Oceanogr-Meth*, 2011, 9:515-523.
- 11 Juhász Z, Danes G, Marines F, et al. Vitamin C, B5, and B6 contents of segregating potato populations detected by GC-MS: A method facilitating breeding potatoes with improved vitamin content. *Plant Breeding*, 2014, 133:515-520.
- 12 Kafkas E, Polatöz S, Koç NK. Quantification and comparison of sugars, carboxylic acids and vitamin C components of various citrus species by HPLC techniques. *J Agr Sci and Tech-Iran*, 2011, 5:175-180.
- 13 Gazdik Z, Zitka O, Petrlova J, et al. Determination of vitamin C (ascorbic acid) using high performance liquid chromatography coupled with electrochemical detection. *Sensors*, 2008, 8:7097-7112.
- 14 Nisperos-Carriedo MO, Buslig BS, Shaw PE. Simultaneous detection of dehydroascorbic, ascorbic, and some organic acids in fruits and vegetables by HPLC. *J Agr Food Chem*, 1992, 40:1127-1130.
- 15 Nazmul HM, Akhtaruzzaman M, Zakir SM. Estimation of vitamins B-complex (B2, B3, B5 and B6) of some leafy vegetables indigenous to Bangladesh by HPLC method. *J Anal Sci Meth Instrum*, 2013, 3(3):24-29.
- 16 Okwu DE, Emenike IN. Evaluation of the phytonutrients and vitamins content of citrus fruits. *Int J Mol Med Adv Sci*, 2006, 2(1):1-6.
- 17 Song PP (宋萍萍), Cao JP (曹江平), Liu SH (刘书慧). Determination of eight water-soluble vitamins in fruit vinegar by RP-HPLC. *Food Sci (食品科学)*, 2012, 33:181-184.
- 18 Li MM (李苗苗), Zhang XM (张秀梅), Wei CB (魏长宾), et al. Determination of eight kinds of vitamins in Pineapple fruit by HPLC. *Chin J Trop Crops (热带作物学报)*, 2012, 33:375-381.
- 19 Sancho LEGG, Yahia EM, González-Aguilar GA. Identification and quantification of phenols, carotenoids, and vitamin C from papaya (*Carica papaya* L., cv. Maradol) fruit determined by HPLC-DAD-MS/MS-ESI. *Food Res Int*, 2011, 44: 1284-1291.
- 20 Lee SK, Kader AA. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol Tec*, 2000, 20:207-220.

(上接第 1910 页)

- 22 Zhou X, Liu H, Zhao C, et al. Chemical constituents from herbs of *Reineckia carnea*. *China J Chin Mater Med*, 2008, 33:2793-2796.
- 23 Kang SS, Kim JS, Son KH, et al. Cyclooxygenase-2 inhibitory cerebrosides from *Phytolaccae Radix*. *Chem Pharm Bull*, 2001, 49:321-323.
- 24 Hu HB, Zheng XD, Cao H, et al. Triterpenoid saponins from the stem bark of *Acanthopanax brachypus harms*. *Chem Pharm Bull*, 2009, 57:1000-1003.
- 25 Hu HB, Zheng XD, Hu HS, et al. Diterpenoids from *Acanthopanax brachypus harms*. *J Chem Biodivers*, 2013, 10:1623-1629.
- 26 Jung HJ, Nam JH, Choi J, et al. Antiinflammatory effects of chiisanoside and chiisanogenin obtained from the leaves of *Acanthopanax chiisanensis* in the carrageenan and Freund's complete adjuvant-induced rats. *J Ethnopharmacol*, 2005, 97:359-367.
- 27 Yook CS, Liu XQ, Chang SY, et al. Lupane Triterpene Glycosides from the Leaves of *Acanthopanax gracilistylus*. *Chem Pharm Bull*, 2002, 50:1383-1385.
- 28 Liu XQ, Chang SY, Park SY, et al. A new lupane triterpene glycosides from the leaves of *Acanthopanax gracilistylus*. *Arch Pharm Res*, 2002, 25:831-836.
- 29 Kang OH, Kim DK, Cai XF, et al. Attenuation of experimental murine colitis by acanthoic acid from *Acanthopanax koreanaum*. *Arch Pharm Res*, 2010, 33:87-93.
- 30 Li Z, Li XJ, Kwon OK, et al. Chemical constituents from leaves of *Acanthopanax henryi* (II). *Nat Prod Sci*, 2015, 21:196-204.