

# 甜橙中不同活性成分与总抗氧化能力关系的研究

朱玉昌<sup>1</sup>, 周大寨<sup>1</sup>, 焦必宁<sup>2,\*</sup>, 付陈梅<sup>2</sup>

(1. 湖北民族学院, 湖北省生物资源保护与利用重点实验室, 湖北 恩施 445000,  
2. 中国农业科学院柑桔研究所, 重庆 400712)

**摘要:** 测定了7个甜橙品种果汁中主要活性成分, 包括VC、多酚、总类胡萝卜素及类柠檬苦素的含量, VC的含量介于390.6~478.6mg/L之间, 多酚类介于573.1~655.0mg/L, 总类胡萝卜素介于5.47~7.25mg/L, 类柠檬苦素介于0.10~0.17mg/L。用ABTS/K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>体系测定的反映总抗氧化能力的TEAC值介于4.79~6.09之间, 血橙最高, 锦橙最低。TEAC值与VC的相关度达到显著水平( $r=0.868$ ,  $p=0.011$ ), 与多酚类达到极显著水平( $r=0.909$ ,  $p=0.003$ ), 而与总类胡萝卜素则无显著相关关系( $p > 0.1$ ), 表明多酚类物质可能是甜橙品种中主导的抗氧化活性成分。

**关键词:** 甜橙; 活性成分; TEAC值

Study on Relationship between Various Active Constituents and Total Antioxidant Activity in Orange Juices

ZHU Yu-chang<sup>1</sup>, ZHOU Da-zhai<sup>1</sup>, JIAO Bi-ning<sup>2,\*</sup>, FU Chen-mei<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Biologic Resources Protection and Utilization of Hubei Province, Hubei Institute for Nationalities, Enshi 445000, China; 2. Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China)

**Abstract:** The contents of antioxidant components in seven kinds of orange juices were assayed with the content of VC ranges from 390.6 to 478.6 mg/L, of polyphenols from 573.1 to 655.0 mg/L of carotenoids from 5.47 to 7.25 mg/L and of limonoids from 0.10 to 0.17 mg/L. The TEAC values determined by ABTS/K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> system are from 4.79 to 6.09, with blood orange the highest and Jincheng the lowest. The relationship between TEAC values and the content of VC shows remarkable level ( $r=0.868$ ,  $p=0.011$ ), and that between TEAC and polyphenols is significant ( $r=0.909$ ,  $p=0.003$ ), while there is no obvious correlation between the TEAC and carotenoids ( $p > 0.1$ ). It was concluded that the polyphenols are probably the dominant antioxidant component in these seven kinds of oranges.

**Key words:** orange juice; active constituent; TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) value

中图分类号: TS255.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2008)05-0082-05

研究表明, 柑桔含有170种以上的植物化学物质, 成分复杂, 且其种类和数量随品种、产地、气候和加工方法等因素的变化而变化, 因而, 迄今为止在柑桔的主要抗氧化活性成分的认识上还存在一定的分歧。我国柑桔品种资源丰富, 但对柑桔中的抗氧化活性成分含量、分布及生理功能的研究还不十分系统、深入。加强这方面的研究, 以充分挖掘我国柑桔资源的药用价值, 不仅能为开发保健食品提供功能素材, 同时还能提高柑桔果品的附加值, 增加经济效益。本实验以甜

橙为试材, 测定不同甜橙品种果汁中主要活性组分的含量, 采用ABTS/K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>体系评价不同品种总抗氧化活性, 并分析总抗氧化活性与主要活性成分的相关性, 以期为柑桔加工及其综合开发利用提供理论依据和实践参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

收稿日期: 2007-04-30

基金项目: 农业部结构调整重大技术研究项目(04-09-02B); 科技部科研院所公益基金项目(2004D1BJ147)

作者简介: 朱玉昌(1979-), 女, 讲师, 硕士, 研究方向为农产品贮藏玉加工。E-mail: zycandly@163.com

\* 通讯作者: 焦必宁(1963-), 男, 研究员, 研究方向为农产品质量标准及检测技术。E-mail: bljiao@tom.com

所用甜橙均由中国农业科学院柑桔研究所种质圃提供,包括清家、纽荷尔、447 锦橙、中育 7 号甜橙、血橙、无核雪柑、哈姆林,均在正常成熟期采摘。

橙皮苷、对香豆酸、芥子酸、阿魏酸、玉米黄质、叶黄素、 $\beta$ -胡萝卜素、福林-酚试剂 Fluka 公司;橙皮素、柚皮素、咖啡酸、诺米林、柠檬苦素、ABTS [2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid)], Trolox[(6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid, 色谱纯) Sigma 公司;过硫酸钾 上海爱建德国塞引发剂有限公司。所用标准品均为色谱纯,其余均为分析纯,重蒸水用来配试剂。

## 1.2 仪器与设备

SG280-B4 手动榨汁机、美国 DIONEX 高效液相色谱仪(本实验中所用色谱柱为 Diamonsil™ (钻石) C<sub>18</sub> 柱(5 $\mu$ l, 250  $\times$  4.6mm)、Human Power + 超纯水器、RE-201D 旋转蒸发器、PHSJ-3F pH 计、Millipore 0.45 $\mu$ m 微孔过滤器、Multiskan MK3 酶标仪、平底 96 孔微量滴定板、MS1/MS2 迷你振荡器、Auanti30 高速冷冻离心机、KQ5200B 型超声波清洗器、722S 分光光度计等。

## 1.3 方法

### 1.3.1 果汁制备

取鲜果 10~20 个,洗净,拭干,横切成两半,用家用榨汁器榨出果汁,经 100 目干净纱布过滤盛于烧杯中,将榨汁后的囊瓣从果皮扯下,取出种籽后放入洗净纱布中,再将果汁全部压出,合并于烧杯中,搅匀,4 $^{\circ}$ C 保存。

### 1.3.2 分析方法

#### 1.3.2.1 VC 测定

采用高效液相色谱法。流动相:甲醇:pH4.0 磷酸二氢钾缓冲液(75:25);流速:1.0ml/min;进样体积:20 $\mu$ l;检测波长:266nm;柱温:25 $^{\circ}$ C。

#### 1.3.2.2 多酚类的测定

采用 Folin-Ciocalteu 法<sup>[1]</sup>,含量以焦性没食子酸当量计。

#### 1.3.2.3 总类胡萝卜素的测定

采用比色法<sup>[2]</sup>,含量以 $\beta$ -胡萝卜素当量计。

#### 1.3.2.4 橙皮苷、橙皮素、柚皮素含量测定

采用高效液相色谱法。流动相:甲醇:1.0%乙酸溶液(38:62);流速:0.8ml/min;进样体积:20 $\mu$ l;检测波长:288nm;柱温:35 $^{\circ}$ C。

#### 1.3.2.5 咖啡酸、对香豆酸、芥子酸、阿魏酸含量测定

采用高效液相色谱法。流动相:A:甲醇:乙酸:水(10:2:88);B:甲醇:乙酸:水(90:2:8);流速:1.0ml/min;进样体积:20 $\mu$ l;检测双波长:280nm 和 320nm;柱

温:30 $^{\circ}$ C。

#### 1.3.2.6 柠檬苦素、诺米林含量测定

采用高效液相色谱法。流动相:甲醇:2%磷酸溶液(68:32);流速:1.0ml/min;进样体积:20 $\mu$ l;检测波长:210nm;柱温:20 $^{\circ}$ C。

#### 1.3.2.7 总抗氧化活性实际值的测定

采用改良 ABTS 法<sup>[3-4]</sup>。

果汁用 50%乙醇提取,于 5ml 果汁中加入 25ml 50%乙醇,旋涡振荡 1min 后用超声波处理 10min,过滤备用。

将 5ml 的 7mmol/L ABTS 和 500 $\mu$ l 的 140mmol/L 过硫酸钾混合,在室温、避光的条件下静置过夜,形成 ABTS 自由基储备液,使用前用 80%乙醇稀释成工作液,使其在室温下于 414nm 波长下的吸光度为 0.70  $\pm$  0.02。测定时在 96 孔微量滴定板的每孔中加入 390 $\mu$ l 的 ABTS 工作液,再加入 10 $\mu$ l 的标准物质或果汁提取液,以 400 $\mu$ l 的 80%乙醇为空白,混合 10s,于 16min 后读取 734nm 波长下的吸光度。以 Trolox 作为参照物,使用的标准系列为 0.2、0.4、0.6、0.8 和 1.0mmol/L。将标准物质或果汁提取液清除自由基的能力与 Trolox 清除自由基的能力相对比,确定其相对抗氧化活性,单位为 TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) 即 1mmol/L 标准物质清除自由基能力相当于 Trolox 清除同等自由基能力的毫摩尔数,或是 100ml 果汁清除自由基能力相当于 Trolox 清除同等自由基能力的毫摩尔数。

#### 1.3.2.8 总抗氧化活性理论值的计算

根据测得的各主要抗氧化活性成分的含量及其对应标准物质 TEAC 值,计算这些成分的 TEAC 值,进而与实际测得的各品种的 TEAC 值进行比较,以求了解其他抗氧化活性成份能力的大致强弱。计算公式为:

$$TAA_{\text{理论值}} = \sum_i TEAC_i \times Conc_i$$

式中, $i$  代表一种活性成分; $Conc_i$  为测得的该活性成分浓度(mmol/L)。

#### 1.3.2.9 相对贡献率的计算

在所测定的主要抗氧化活性成分中,各自的抗氧化活性也可能存在着一定的相对强弱,为了解这些甜橙品种中最主要的抗氧化活性成分,计算了各成分对总抗氧化活性的相对贡献率。

$$r_i(\%) = TEAC_i / TEAC_{\text{实测}} \times 100$$

## 2 结果与分析

### 2.1 主要活性成分含量的比较

7 个甜橙品种中的 VC、总多酚、总类胡萝卜素及类柠檬苦素(柠檬苦素+诺米林)含量见表 1。从表 1 中可以看出,VC 的含量介于 390.6~478.6mg/L,这与大多数报道的数据一致<sup>[5-6]</sup>;多酚类介于 573.1~655.0mg/L,与国外报道不尽一致,略高于有些报道值,这可能与

甜橙品种、产地以及测定方法有关<sup>[7]</sup>；各品种间这两类活性成份的含量呈明显差异，均以血橙中含量最高。较前两类活性成分而言，总类胡萝卜素较低，介于5.47~7.25mg/L之间；类柠檬苦素含量极少，介于0.10~0.17mg/L，这两类活性成分在品种间的含量差异不明显。

表1 不同甜橙品种果汁中VC、多酚、总胡萝卜素类及类柠檬苦素含量  
Table 1 Content of VC, polyphenols, total carotenoids and limonoid in different sweet oranges juices

品种	VC (mg/L)	多酚类 (mg/L)	总类胡萝卜素 (mg/L)	柠檬苦素 (mg/L)	诺米林 (mg/L)
清家	390.6±1.7 <sup>a</sup>	615.6±10.2 <sup>a</sup>	6.41±0.10 <sup>a</sup>	0.10	-
纽荷尔	390.5±1.7 <sup>a</sup>	615.6±9.1 <sup>a</sup>	5.47±0.10 <sup>b</sup>	0.15	0.02
锦橙	352.0±1.7 <sup>b</sup>	573.1±12.7 <sup>b</sup>	6.24±0.20 <sup>a</sup>	0.12	-
中育7号	412.7±1.7 <sup>c</sup>	606.7±11.7 <sup>a</sup>	5.56±0.11 <sup>b</sup>	0.13	-
血橙	522.5±1.7 <sup>d</sup>	655.0±12.2 <sup>c</sup>	7.01±0.32 <sup>c</sup>	0.13	-
无核雪柑	423.7±1.7 <sup>e</sup>	629.5±10.4 <sup>d</sup>	7.25±0.22 <sup>c</sup>	0.11	0.01
哈姆林	478.6±1.7 <sup>f</sup>	645.5±10.9 <sup>cd</sup>	7.19±0.33 <sup>c</sup>	0.14	0.02

注：表中数据均为三次测定平均值±标准差，不同的字母标号表示不同的显著性差异水平。

柑桔中的多酚类主要是类黄酮和羟基肉桂酸类化合物，表2列出了七个甜橙品种橙皮苷、橙皮素、柚皮素、阿魏酸、p-香豆酸、芥子酸及咖啡酸的含量，这些物质在各品种间的含量无明显差异。在三种黄酮酮中，橙皮苷的含量在301.3~339.0mg/L之间，橙皮素在105.0mg/L左右，柚皮素在35.0mg/L左右，为橙皮素含量的1/3，这与研究品种的选择有关。在四类酚酸中，由于果汁前处理及测定方法的不同，数值上虽与报道值有些差异，但含量高低依次为阿魏酸>p-香豆酸>芥子酸>咖啡酸，与大多数报道结果一致<sup>[8]</sup>。

## 2.2 七个甜橙品种的TEAC值及VC、多酚类、总类胡萝卜素及类柠檬苦素的相对贡献率

关于柑桔抗氧化活性强弱与VC、多酚类、总类胡萝卜素及类柠檬苦素成分含量的相关性，在国外的研究中，以往报道结果不尽一致。Miller<sup>[9]</sup>等用ABTS/正铁肌红蛋白/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>体系测定了VC和多酚类对橙汁总抗氧化活性的贡献率，得出VC是最主要的活性成分，贡

献率可达87%；Franke<sup>[10]</sup>等用脂质过氧化体系测定了一系列橙汁的抗氧化能力，通过Spearman's分析得出多酚类物质的影响较大( $r_s=0.857$ )，与VC含量无明显相关性( $r_s=0.690$ )，国内相关方面的报道甚少。本实验用ABTS/K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>体系测定了反映TAA的TEAC值，并进行了相关分析，计算了各抗氧化活性成分对TAA的相对贡献率。

首先测定了橙汁中存在的主要抗氧化活性成分的TEAC值，结果是：VC 1.03mmol/L，焦性没食子酸3.09mmol/L，橙皮苷1.10mmol/L，橙皮素1.55mmol/L，柚皮素0.84mmol/L，咖啡酸1.22mmol/L，p-香豆酸2.21mmol/L，阿魏酸1.88mmol/L，芥子酸1.23mmol/L，-胡萝卜素1.59mmol/L，诺米林0.71mmol/L，柠檬苦素0.76mmol/L。据此计算各组分对TAA的相对贡献率，结果见表3。

所测定的七个甜橙品种中，总体而言，抗氧化活性比较好，以血橙相对最强，TEAC值达到6.09，其次是无核雪柑和哈姆林，TEAC值分别为5.47和5.19，以锦橙最低，为4.03，其余几个品种介于4.79~5.11之间。从表3可以看出，在所测定的7个甜橙品种中，多酚类对总抗氧化活性的贡献率最大，介于52.70%~69.69%之间，VC的贡献率次之，介于29.03%~37.63%，为多酚类的一半。总类胡萝卜素的贡献率较低，最高只为0.46%。类柠檬苦素中的柠檬苦素和诺米林的贡献率极低，在表中未予列出。由此，本实验的研究结果与Franke等研究者的一致，即多酚类物质可能是甜橙品种中主导的抗氧化活性成分。

表4列出了不同品种甜橙的TEAC值与VC、多酚、及总类胡萝卜素含量的相关关系，其中TEAC值与VC含量达到显著水平( $r=0.868$ ,  $p=0.011$ )，与多酚类含量达到极显著水平( $r=0.909$ ,  $p=0.005$ )，与总类胡萝卜素含量之间的相关性不明显( $p>0.1$ )，进一步表明，多酚类物质可能是甜橙品种中主导的抗氧化活性成分。

## 3 讨论

之所以在橙汁抗氧化活性与VC及多酚类含量的关

表2 不同甜橙品种果汁中主要多酚类物质的含量

Table 2 Contents of various components of polyphenols in different sweet oranges juices

品种	橙皮苷(mg/L)	橙皮素(mg/L)	柚皮素(mg/L)	阿魏酸(mg/L)	p-香豆酸(mg/L)	芥子酸(mg/L)	咖啡酸(mg/L)
清家	332.7±4.4	101.8±2.4	37.2±1.3	34.1±1.2	16.5±0.4	11.1±0.2	5.0±0.1
纽荷尔	330.1±5.2	104.7±2.6	35.4±1.1	31.2±1.1	22.0±0.5	12.2±0.1	4.1±0.1
锦橙	301.3±4.3	102.1±2.5	31.9±1.0	30.1±1.0	21.2±0.4	13.1±0.1	4.2±0.1
中育7号	319.0±4.7	101.7±2.5	32.1±1.1	35.5±1.2	21.1±0.5	13.4±0.2	4.2±0.1
血橙	312.5±4.9	106.4±2.6	44.7±1.2	48.0±1.3	27.5±0.4	12.2±0.2	6.4±0.1
无核雪柑	327.2±4.5	107.3±2.4	31.1±1.0	30.1±1.1	20.2±0.3	11.3±0.1	3.2±0.1
哈姆林	339.0±4.2	109.2±2.4	31.3±1.1	32.5±1.0	21.1±0.4	11.5±0.1	3.4±0.1

注：表中数据均为三次测定平均值±标准差。

表3 不同甜橙品种 TEAC 值及各活性成分的相对贡献率  
Table 3 TEAC values of different sweet oranges and relative contributions of various active constituents

成分		清家	纽荷尔	锦橙	中育7号	血橙	无核雪柑	哈姆林
V C	TEAC 值	1.71	1.71	1.17	1.81	2.29	1.86	1.94
	相对贡献率(%)	35.76	33.52	29.03	35.85	37.63	33.98	37.38
总多酚	TEAC 值	3.02	3.02	2.81	2.92	3.21	3.08	3.16
	相对贡献率(%)	62.98	59.04	69.69	57.90	52.70	56.40	60.94
橙皮苷	TEAC 值	0.60	0.59	0.54	0.57	0.56	0.59	0.61
	相对贡献率(%)	12.51	11.63	13.47	11.38	9.24	10.77	11.77
橙皮素	TEAC 值	0.52	0.54	0.52	0.52	0.55	0.55	0.56
	相对贡献率(%)	10.90	10.51	12.99	10.33	9.03	10.06	10.79
柚皮素	TEAC 值	0.11	0.11	0.10	0.10	0.14	0.10	0.10
	相对贡献率(%)	2.40	2.14	2.44	1.96	2.26	1.75	1.86
咖啡酸	TEAC 值	0.33	0.30	0.29	0.34	0.46	0.29	0.31
	相对贡献率(%)	6.89	5.91	7.25	6.80	7.63	5.31	6.06
p-香豆酸	TEAC 值	0.22	0.30	0.29	0.28	0.37	0.27	0.28
	相对贡献率(%)	4.64	5.80	7.08	5.61	6.08	4.97	5.45
阿魏酸	TEAC 值	0.09	0.10	0.10	0.11	0.10	0.09	0.09
	相对贡献率(%)	1.83	1.91	2.60	2.12	1.60	1.65	1.78
芥子酸	TEAC 值	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02
	相对贡献率(%)	0.71	0.55	0.70	0.56	0.71	0.39	0.45
总类胡萝卜素	TEAC 值	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	相对贡献率(%)	0.40	0.32	0.46	0.33	0.34	0.39	0.41
	TAA 未知	1.15	1.42	0.97	1.27	1.37	1.68	1.24
	TAA 计算值	3.64	3.69	3.06	3.78	4.72	3.79	3.95
	TAA 实测值	4.79	5.11	4.03	5.05	6.09	5.47	5.19

表4 不同甜橙品种 TEAC 值与 VC、多酚及总类胡萝卜素含量的关系  
Table 4 Correlation between TEAC values and their VC, polyphenols and total carotenoids contents

Statistics	TEAC 值	VC 含量	多酚类含量	总类胡萝卜素含量
TEAC值 Pearson correlation	1	0.868*	0.909**	0.425
Sig. (2-taile)	-	0.011	0.005	0.341
VC含量 Pearson correlation	1	1	0.919**	0.599
Sig. (2-taile)	-	-	0.003	0.156
多酚类含量 Pearson correlation	1	1	1	0.601
Sig. (2-taile)	-	-	-	0.154
总类胡萝卜素含量 Pearson correlation	1	1	1	1
Sig. (2-taile)	-	-	-	-

注：\* 双尾检验，0.05 水平达到显著；\*\* 双尾检验，0.01 水平达到极显著。

系方面形成分歧的其中几个重要原因可能是：(1)与多酚类的结构有关；(2)所用实验品种本身抗氧化成分的差异或成分相似但提取方法不同；(3)抗氧化评价体系本身的原理和侧重点不同，使得同一种物质在不同的抗氧化评价体系中表现的活性强度不同。

图1是多酚类中黄烷酮类(a)和酚酸类(b)结构示意图，它们均含有供应电子的活性羟基，遇到活泼的自由基时就有可能马上被激活，给出电子，以保护其他被自由基攻击的物质。如果一种物质中同时含有多酚类和VC的话，多酚类扮演先驱者的角色，最先受到自由基的攻击而保护VC。有报道指出，沙棘果实富含的生

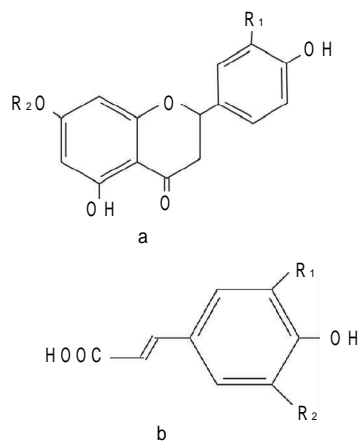


图1 黄烷酮类(a)和酚酸类(b)结构示意图  
Fig.1 Structure schematic drawing of flavonoids (a) and hydroxycinnamates(b)

物类黄酮可以延缓或阻止VC氧化<sup>[11]</sup>，这样导致在分析测定结果时后者占了优势。

最近，Sendra<sup>[12]</sup>等在研究不同品种柑桔汁对自由基的清除时发现，自由基的降解存在快反应、慢反应及介于两者之间的三种降解途径。快反应降解途径主要是以VC为代表的具有烯醇式结构的物质，它们快速地为自由基提供氢，且反应是不逆的，存在线性关系；慢反应降解途径主要是以橙皮苷为代表的结构式的B环上

缺少3'和4'羟基的黄烷酮类及其衍生物,它们较慢地提供氢,反应是可逆的,双曲线关系;介于这两者之间的是无取代或有单一取代的儿茶酚类物质,兼容前两者的特征,这类物质包括绿原酸、咖啡酸和阿魏酸。Goupy<sup>[13]</sup>等人也有过相似的研究报道。以此机理推断,如果一种物质中同时含有多酚类和VC,VC快速的参与反应,而多酚类则要相当的时间才能反映完全,给测定结果带来偏差。

另外,通过理论计算得到的TAA<sub>理论值</sub>与实际测得的TAA<sub>实测值</sub>间有一定的差值,其范围在0.84~1.54,这说明除了测定的大部分活性成分外,还存在着其他较强的活性成分。以测定的多酚中这八类物质为例,其加起来的贡献率在37.46%~49.78%间,低于直接测得的各自总多酚的贡献率(52.70%~69.08%),说明在多酚类物质中尚且存在着一些抗氧化活性成分,如已有过相关研究的新橙皮苷,血橙中的花色苷等。

#### 参 考 文 献

- [1] 凌关庭. 抗氧化食品与健康[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 342-343.
- [2] 韩雅珊. 食品化学实验指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1992: 119-120.
- [3] PELLEGRINI N, SERAFINI M, COLOMBI B, et al. Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying the 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonyl) acid radical cation decolorization assay[J]. *Methods Enzymol*, 1999, 299: 379-389.
- [4] 韩光亮, 李翠梅, CACACE E, 等. 改良的ABTS+法及其在优化抗氧化活性物质提取中的应用[J]. *卫生研究*, 2004, 33(5): 620-622.
- [5] GLISZCZYNSKA-SWIGLO A, WROBLEWSKA J, LEMANSKA, K, et al. The contribution of polyphenols and vitamin C to the antioxidant activity of commercial orange juices and drinks[C]//*Proceedings of 14th IGWT Symposium Focusing New Century: Commodity-Trade-Environment, China*, 2004: 121-126.
- [6] KLIMCZAK I, MALECKA M, SZALCHTA M, et al. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2007, 20(3/4): 313-322.
- [7] VINSON J A, SU X, ZUBIK L, et al. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: fruits[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 200, 149: 5315-5321.
- [8] ZUO Y G, WANG C X, ZHAN J. Separation, characterization, and quantitation of benzoic and phenolic antioxidants in american cranberry fruit by GC-MS[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50: 3789-3794.
- [9] MILLER N J, RICE-EVANS C A. The relative contributions of ascorbic acid and phenolic antioxidants to the total antioxidant activity of orange and apple fruit juices and blackcurrant drink[J]. *Food Chemistry*, 1997, 60: 331-337.
- [10] FRANKE S I R, CKLESS K, SILVEIRA J D, et al. Study of antioxidant and mutagenic activity of different orange juices[J]. *Food Chemistry*, 2004, 88(1): 45-55.
- [11] 武汉市食品工业研究所. 关于如何减少猕猴桃制品中VC损耗的初步探讨[J]. *食品科学*, 1984(6): 30-32.
- [12] SENDRA J M, SENTANDREU E, NAVARRO J L. Reduction kinetics of the free stable radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH·) for determination of the anti-radical activity of citrus juices[J]. *Eur Food Res Technol*, 2006, 223(5): 615-624.
- [13] GOUPY P, DUFOUR C, LOONIS M, et al. Quantitative kinetic analysis of hydrogen transfer reactions from dietary polyphenols to the DPPH radical[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51: 615-622.