

王兴娜, 汪 晶, 黄午阳, 等. 青梅果实不同极性组分的抗氧化活性[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(1): 211-215.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.01.033

青梅果实不同极性组分的抗氧化活性

王兴娜¹, 汪 晶², 黄午阳¹, 王 猛², 李春阳¹, 王 帆¹

(1. 江苏省农科院农产品加工所, 江苏 南京 210014; 2. 南京林业大学化学工程学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 为了研究青梅(*Prunus mume*)果实不同极性组分的抗氧化活性, 按极性梯度对乙醇提取物的水悬液依次用氯仿、乙酸乙酯、正丁醇进行液-液萃取, 获得氯仿萃取物、乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物及剩余的水相4个组分。分别测定乙醇提取物原液和这4个组分的多项抗氧化能力指标, 包括总抗氧化能力(TEAC)、氧化自由基清除能力(ORAC)、DPPH自由基清除能力(DPPH)、亚硝酸盐清除能力、三价铁还原抗氧化能力(FRAP), 以及其中的总黄酮和总多酚含量。结果显示, 经萃取后剩余水溶物的抗氧化能力比乙醇提取物降低, 各萃取物比乙醇提取物抗氧化能力增强, 其中以正丁醇萃取物抗氧化活性最高, 其次为乙酸乙酯萃取物。总黄酮和总多酚含量也以正丁醇萃取物最高, 水相含量最低, 与抗氧化能力具有一致性。说明青梅主要抗氧化组分存在于正丁醇萃取物中, 总黄酮和总多酚是其具有抗氧化活性的主要成分。

关键词: 青梅; 抗氧化活性; 极性组分; 总黄酮; 总多酚

中图分类号: S662.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2016)01-0211-05

Antioxidative activities of different polar extracts from *Prunus mume* fruits

WANG Xing-na¹, WANG Jing², HUANG Wu-yang¹, WANG Meng², LI Chun-yang¹, WANG Fan¹

(1. Institute of Farm Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. College of Nanjing Forest University, Nanjing 210037, China)

Abstract: In order to study the antioxidant activities of different polar components from fruits of *Prunus mume*, ethanol extract was partitioned with chloroform, ethyl acetate, and *n*-butanol successively, and four different polarity (chloroform, ethyl acetate, *n*-butanol, water) extracts were obtained. Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC), oxygen radical absorbance capacity (ORAC), DPPH radical scavenging activity (DPPH), nitrite scavenging activity, ferric reducing antioxidant power (FRAP), the total flavonoid and total polyphenol contents of the 4 extracts and the ethanol extract were detected. The extracts of chloroform, ethyl acetate and *n*-butanol had stronger antioxidative activities than ethanol extract which likewise outperformed water. The *n*-butanol component showed the best antioxidative activities, followed by ethylacetate. The contents of both total flavonoids and total polyphenols had consistency with the antioxidant activities. It was concluded that the major

antioxidant components existed in the *n*-butanol extract, and total flavonoids and total polyphenols might be responsible for the antioxidative activities.

Key words: *Prunus mume*; antioxidative activity; polar extract; total flavonoid; total polyphenol

收稿日期: 2015-05-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(NSF31401615); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(12)5028]; 江苏省农业科学院基本科研业务专项[ZX(15)4047]

作者简介: 王兴娜(1978-), 女, 山东沂水人, 博士, 副研究员, 研究方向为天然产物研究与开发。(E-mail) xingnawang.nn@163.com

通讯作者: 汪 晶, (E-mail) wjcrystal_gl@163.com; 王 帆, (E-mail) wangfan713@126.com

青梅(*Prunus mume* Sieb. Et Zucc)是蔷薇科(Rosaceae)樱桃属果树的未成熟果实, 仅局限生长于中国、日本、韩国及泰国等亚洲国家, 而中国是青梅的原

产地,也是世界上适合生产青梅地域最广的国家^[1]。青梅性平,味甘、酸,具有生津止渴、清除肝热、利水的功效。传统加工品如干湿梅、梅脯、蜜梅等深受国内消费者的喜爱,青梅的炮制品乌梅被国家卫生部列入“既是食品又是药品”的名单中^[2]。然而青梅因为酸度太高,不适合生食,属于加工型水果,需要研究其生理功能和活性,以更好地开发该宝贵资源。

近年来的研究表明,许多疾病的发生发展与自由基有密切关系。在正常生理情况下活性氧的产生与清除可维持在一个有利无害的极低水平,但在衰老、应激和疾病的情况下活性氧却对重要生物分子产生损伤^[3]。从常见的食品资源中寻找对自由基具有良好清除能力的清除剂,是一个极有意义的研究课题。而青梅就是一种很好的抗氧化果品^[4]。

本项目将研究青梅果实不同极性萃取成分清除自由基的能力,并测定不同组分中总黄酮、总多酚的含量,以阐明青梅中总黄酮、总多酚的含量与其抗氧化活性的关系。

1 材料与方法

1.1 试验材料

所用青梅产自江苏溧水。AAPH(偶氮二异丁脒盐酸盐)、ABTS^{•+}(2, 2-联氨基-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二氢盐)、DPPH(1, 1-二苯基苦基苯肼, 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)、芦丁标准品、TPTZ(2, 4, 6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine, 2,4,6-三吡啶基三嗪)购自美国Sigma公司; Trolox(水溶性维生素E)购自美国Acros Organics公司; 荧光素钠、醋酸钠、FeCl₃、FeSO₄、对氨基苯磺酸、N-1-苯基乙二胺盐酸、NaNO₂、过硫酸钾、没食子酸、Na₂CO₃、AlCl₃、NaOH、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇、PBS均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

旋转蒸发器 RE-52AA(上海亚荣生化仪器厂生产), 多功能酶标仪(Miretek Laborsystem GmbH, Overath Germany), 电子天平 TE214S(德国赛多利斯股份公司生产), 752S 紫外可见分光光度计(上海棱光技术有限公司生产)。

1.3 试验处理

1.3.1 青梅组分制备 将新鲜青梅果实于75%乙醇中浸泡一段时间,将浸出液浓缩后加蒸馏水充分混匀,依次用氯仿、乙酸乙酯、正丁醇分别萃取3次,得到乙醇

提取物、氯仿、乙酸乙酯、正丁醇及水相5个组分。

1.3.2 青梅样品的预处理 取青梅样品1到样品5各1g于50ml溶剂[去离子水:乙醇(体积比)=4:1]中充分溶解混匀,配制成20mg/ml样品储备液。分别取1ml储备液加水1ml、3ml、19ml稀释成1mg/ml、5mg/ml、10mg/ml工作液待用。

1.4 测定方法

1.4.1 总抗氧化能力(TEAC, Trolox equivalent antioxidant capacity)测定 参照Arts等^[5]的方法,略有改动。将5ml 7mmol/L ABTS^{•+}和88μl 140mmol/L过硫酸钾混合,形成ABTS^{•+}自由基储备液,避光保存静置,使用前用无水乙醇稀释成工作液,要求其在30℃、734nm波长下吸光度为0.700±0.020。称取0.0012g Trolox溶于无水乙醇,定容至50ml,配成100μmol/L储备液,分别稀释配成80μmol/L、60μmol/L、40μmol/L、20μmol/L的标准品。称取待测样品分别稀释为1.00mg/ml、0.10mg/ml、0.05mg/ml、0.01mg/ml。取100μl不同浓度的标准品和待测液,空白管加入100μl 80%乙醇,最后加入3.9ml ABTS^{•+}工作液,振荡30s,室温下静置6min后,在734nm处测吸光值变化。按下式计算ABTS^{•+}自由基清除率:清除率 $S = 1 - (A_i - A_j)/A_0$ 。其中 A_i 为加入待测液的吸光值; A_j 为待测液本底值; A_0 为不加待测液的对照值。 IC_{50} 为对ABTS^{•+}自由基清除率达到50%时的样品浓度。另以不同浓度的Trolox做抑制ABTS^{•+}的曲线, Trolox的 IC_{50} 除以样品的 IC_{50} 作为样品的总抗氧化能力。

1.4.2 氧化自由基清除能力(ORAC, Oxygen radical absorbance capacity)测定 参照Christian等^[6]的方法,略有改动。在96微孔板上加入100μl不同浓度青梅样品待测液,同时加入不同浓度Trolox作对照,再用12道移液器在每孔中加入50μl 0.4μmol/L荧光素钠混合,37℃反应15min后,向每孔中加入50μl 60μmol/L的AAPH,诱发荧光淬灭。使用酶标仪的试验设置参数为:激发波长485nm,发射波长528nm,37℃;循环数:35;循环周期:210s;振荡:8s;振荡幅度:4mm。试验所得各微孔反应的荧光强度数据采用积分法计算荧光衰退曲线下面积(Area under curve, AUC),样品荧光衰退曲线下净面积(netAUC)等于样品的AUC减去AAPH的AUC。ORAC值由样品浓度梯度的netAUC曲线斜率与Trolox标准品梯度浓度的netAUC曲线斜率的比得

出, $ORAC$ 值 = $[(AUC_{\text{sample}} - AUC_{\text{PPH}}) / (AUC_{\text{Trolox}} - AUC_{\text{AAPH}})] \times (\text{molarity of Trolox} / \text{molarity of sample})$ 。

1.4.3 DPPH 自由基清除能力测定 参照 Kumaran 等^[7]的方法,略有改动。用无水乙醇配置浓度为 0.2 mmol/L DPPH 溶液,避光 4 ℃ 保存,现用现配。取 2 ml 不同浓度待测液,空白管加入 2 ml 无水乙醇,最后加入 2 ml DPPH 溶液,室温避光静置 30 min 后在 517 nm 处测定吸光值的变化。按下式计算 DPPH 自由基清除率:清除率 $S = 1 - (A_i - A_j) / A_0$ 。其中 A_i 为加入待测液的吸光值; A_j 为待测液本底值; A_0 为不加待测液的对照值。 IC_{50} 为对 DPPH 自由基清除率达到 50% 时的样品浓度。

1.4.4 亚硝酸盐清除能力测定 参照 Yingrong 等^[8]的方法,略有改动。向试管中加入 1.0 ml 不同浓度的待测液,再分别加入 5.0 ml 10 μg/ml 的 NaNO_2 溶液,在 37 ℃ 恒温水浴中反应 30 min,取出后立即加入 1.0 ml 0.4% 对氨基苯磺酸溶液,混匀,静置 15 min 后加入 0.5 ml 0.2% N-1-苯基乙二胺盐酸,加蒸馏水 3.5 ml,混匀,静置 15 min,用 2 cm 的比色杯于 538 nm 处测定吸光值,用下式计算亚硝酸盐清除率:清除率 $S = 1 - (A_i - A_j) / A_0$ 。其中 A_i 为加入待测液的吸光值; A_j 为待测液本底值; A_0 为不加待测液的对照值。 IC_{50} 为对亚硝酸盐清除率达到 50% 时的样品浓度。

1.4.5 三价铁还原抗氧化能力 (FRAP, Ferric reducing antioxidant power) 测定 采用 Benzie 等^[9]的方法,略有改动。TPTZ 工作液配置:取 10 mmol/L TPTZ 溶液 2.5 ml, 0.3 mol/L 醋酸钠缓冲液 (pH = 3.6) 25.0 ml, 20 mmol/L 的 FeCl_3 溶液 2.5 ml 混合均匀后置于 35 ℃ 水浴中孵化 30 min,即用即配。测定时取样品液 0.1 ml,加入 TPTZ 工作液 0.9 ml,醋酸钠缓冲液 9.0 ml,于 35 ℃ 水浴中反应 30 min,597 nm 波长处测定吸光值。以硫酸亚铁溶液做标准曲线,抗氧化能力表示为硫酸亚铁当量 (mmol/g),即 1 g 青梅样品抗氧化能力相当于 FeSO_4 毫摩尔数。

1.4.6 总多酚含量测定 参照 Cai 等^[10]的方法,略有改动。用 Folin-Ciocalteu 比色法估计总酚含量 (TPC)。向 0.2 ml 样品稀释液中添加 0.5 mol/L 的 Folin-Ciocalteu 比色试剂 1.0 ml,充分振荡后在室温下反应 4 min。然后向反应物中添加 75 g/L 饱和碳酸钠 1.0 ml,充分摇匀,室温避光反应 2 h 后在波长 760 nm 处测量吸光度变化。用没食子酸做标准曲

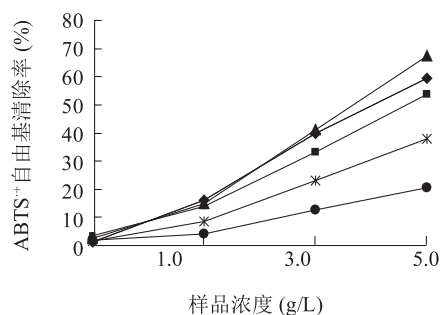
线,结果表示为没食子酸当量。

1.4.7 总黄酮含量测定^[11] 取 1.0 ml 样品,添加 0.1 ml 5% NaNO_2 ,充分振荡后静置 6 min,然后入 0.1 ml 10% $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 摇匀静置 5 min,再加入 1.0 ml 1 mol/L NaOH 摇匀静置 15 min,在波长 510 nm 处测定吸光度。用芦丁做标准曲线,结果表示为芦丁当量。

2 结果与分析

2.1 不同极性组分总抗氧化能力

由图 1 可见,在相同浓度下,正丁醇萃取物清除 $\text{ABTS}^{\cdot+}$ 自由基能力最强,清除率可以达到 70% 左右,水相里面大多是糖类物质,抗氧化能力最弱,乙醇总提取物为提取原液,比水相的抗氧化能力强,但比组分 1~组分 3 都弱。提取原液依次经氯仿、乙酸乙酯萃取后,再经正丁醇萃取,抗氧化能力依然最强,说明正丁醇极性段的组分具有最强的抗氧化能力。经正丁醇萃取后的水相部分抗氧化能力在同等浓度下比原液弱,这说明提取原液经氯仿、乙酸乙酯、正丁醇萃取后,具有抗氧化能力的成分大部分被提取出去,导致剩余的水相物质抗氧化能力较弱。从 TEAC 值 (表 1) 也得出同样的结论。样品组分 1~组分 5 的 TEAC 值都比 Trolox 小,应该与样品是粗提物有关。



—◆— 氯仿萃取物(组分1); —■— 乙酸乙酯萃取物(组分2);
—▲— 正丁醇萃取物(组分3); —●— 水相(组分4);
—*— 乙醇总提取物(组分5)

图 1 组分 1~5 $\text{ABTS}^{\cdot+}$ 自由基清除能力

Fig.1 $\text{ABTS}^{\cdot+}$ radical scavenging activities of components 1-5

2.2 不同极性组分 ORAC

从表 2 可见,组分 1、组分 2 和组分 3 的 ORAC 值相近,对氧化自由基的清除能力都较强,这说明清除氧化自由基能力较强的主要成分范围较广,包括氯仿萃取物、乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物。组分 1~组分 3 的抗氧化能力跟组分 4 有明显差异,组分 3 的 ORAC 值最大,组分 4 的 ORAC 值最小。

表 1 组分 1~5 清除 ABTS^{•+}的 IC_{50} 和 TEAC 值Table 1 IC_{50} value of ABTS^{•+} radical scavenging rate and TEAC value of components 1-5

组分	回归方程	IC_{50} (g/L)	TEAC
1	$Y=9.67x+11.98$ ($R^2=0.994\ 6$)	3.930	0.018
2	$Y=10.19x+2.98$ ($R^2=0.999\ 4$)	4.610	0.015
3	$Y=13.16x+1.53$ ($R^2=0.999\ 9$)	3.680	0.019
4	$Y=3.87x+0.92$ ($R^2=0.997\ 0$)	12.680	0.006
5	$Y=7.40x+0.91$ ($R^2=0.999\ 9$)	6.630	0.011
Trolox	$Y=0.18x-1.15$ ($R^2=0.998\ 5$)	0.071	

1: 氯仿萃取物; 2: 乙酸乙酯萃取物; 3: 正丁醇萃取物; 4: 水相; 5: 乙醇总提取物。

表 2 组分 1~5 的 ORAC 值

Table 2 ORAC values of components 1-5

组分	回归方程	ORAC 值 (mmol/g)
1	$Y=44.521x+1\ 053.600$ ($R^2=0.956\ 3$)	1 606
2	$Y=42.839x+1\ 167.800$ ($R^2=0.992\ 2$)	1 546
3	$Y=45.738x+1\ 063.500$ ($R^2=0.978\ 5$)	1 650
4	$Y=12.895x+1\ 399.100$ ($R^2=0.965\ 4$)	466
5	$Y=34.671x+1\ 629.300$ ($R^2=0.976\ 5$)	1 251

1: 氯仿萃取物; 2: 乙酸乙酯萃取物; 3: 正丁醇萃取物; 4: 水相; 5: 乙醇总提取物。

2.3 不同极性组分 DPPH 自由基清除能力

从图 2 可以看出, 组分 2、组分 3 的 DPPH 自由基清除能力很接近, 清除能力可以达到 88%, 比其他组分清除能力强。对 DPPH 自由基清除率达到 50% 时的样品浓度以组分 3 为最小, 组分 2 次之, 组分 4 最大。各组分清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 值如表 3 所示, 组分 3 的 IC_{50} 最低, 说明组分 3 的 DPPH 自由基清除能力最强, 组分 2 次之, 组分 4 最弱。

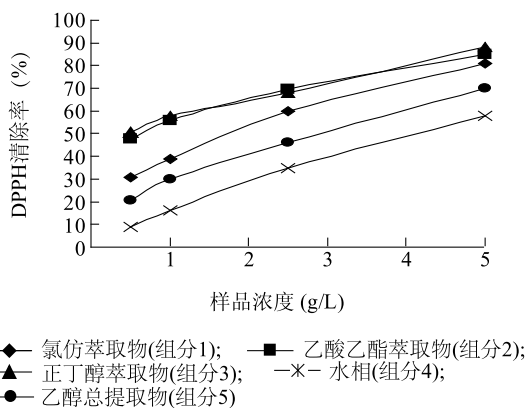


图 2 组分 1~5 的 DPPH 清除能力曲线

Fig.2 DPPH free radical scavenging activity of components 1-5

2.4 不同极性组分亚硝酸盐清除能力

腐烂的蔬菜、在高温下长时间存放的熟菜、腌制

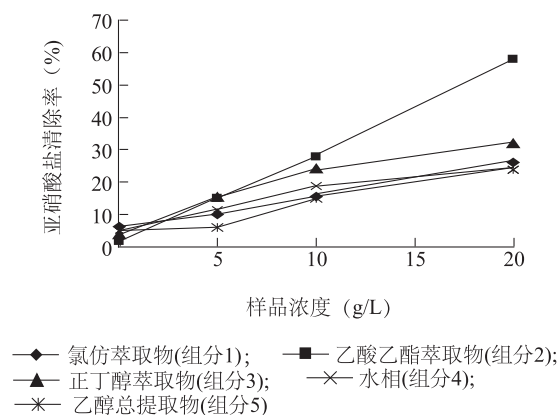
表 3 组分 1~5 对 DPPH 自由基的半清除浓度 (IC_{50})Table 3 Concentration of components 1-5 causing 50% decrease of DPPH (IC_{50} value)

组分	回归方程	IC_{50} (g/L)
1	$Y=0.107\ 0x+0.272\ 0$ ($R^2=0.987\ 3$)	2.03
2	$Y=0.083\ 7x+0.454\ 5$ ($R^2=0.979\ 7$)	0.43
3	$Y=0.083\ 4x+0.466\ 8$ ($R^2=0.999\ 6$)	0.32
4	$Y=0.170\ 5x+0.057\ 9$ ($R^2=0.955\ 4$)	2.46
5	$Y=0.147\ 0x+0.155\ 0$ ($R^2=0.988\ 9$)	2.25

1: 氯仿萃取物; 2: 乙酸乙酯萃取物; 3: 正丁醇萃取物; 4: 水相; 5: 乙醇总提取物。

少于 15 d 的菜、腌腊制品等含亚硝酸盐较高, 由亚硝酸盐引起食物中毒的机率较高。食入 0.3~0.5 g 的亚硝酸盐即可引起中毒甚至死亡, 研究青梅亚硝酸盐清除能力有重要意义。

由图 3 可以看出, 组分 2 和组分 3 的亚硝酸盐清除能力较强, 尤以组分 2 为显著, 在浓度为 20 g/L 时, 亚硝酸盐清除率达到 55% 左右, 组分 1、组分 4、组分 5, 都较组分 2 弱。据报道^[12], 多酚和有机酸对亚硝酸盐清除能力都较强, 这与本研究结果是一致的。已有报道显示, 柠檬酸、酒石酸等有机酸主要存在于青梅乙酸乙酯萃取部分^[13]。推测亚硝酸盐清除能力是多酚和有机酸共同作用的结果。

图 3 组分 1~5 的 NaNO₂ 清除能力Fig.3 NaNO₂ scavenging rate of components 1-5

2.5 不同极性组分 FRAP

FRAP 测定的是将 FeCl₃ 转变为 FeSO₄ 的能力, 因此抗氧化能力表示为硫酸亚铁当量 (mmol/g), 即每克青梅样品抗氧化能力相当于 FeSO₄ 毫摩尔数。597 nm 下, 不同浓度 FeSO₄ 吸光度曲线方程为 $Y=0.215\ 1x+0.003\ 3$ ($R^2=0.982\ 3$)。将组分 1~组分 5

的 OD 值代入不同浓度 $FeSO_4$ 吸光度曲线方程后得到对应的 $FeSO_4$ 克数和 $FRAP$ 值,如表 4 所示。从表 4 可以看出,组分 3 的 $FRAP$ 值最大,其次是组分 2,推测二者消除三价铁离子的能力最大。

2.6 不同极性组分总多酚含量

由表 5 可见,正丁醇萃取物(组分 3)中总多酚含量最高,组分 2 次之,组分 4 中含量最低,比原液中含量低 28.8%。由此可见,原液经过氯仿、乙酸乙酯、正丁醇依次萃取后,总多酚含量降低,多酚萃取能力正丁醇最强。

表 4 组分 1~5 的吸光度值及 $FRAP$ 值

Table 4 OD value and $FRAP$ value of components 1-5

组分	OD	$FeSO_4$ (mmol/L)	$FRAP$ (mmol/g)
1	0.325	1.496	0.074 80
2	0.436	2.012	0.100 60
3	0.484	2.235	0.111 75
4	0.073	0.324	0.016 20
5	0.163	0.742	0.037 10

1:氯仿萃取物;2:乙酸乙酯萃取物;3:正丁醇萃取物;4:水相;5:乙醇总提取物。

表 5 组分 1~5 总多酚含量

Table 5 Total polyphenol contents in components 1-5

项目	组分				
	1	2	3	4	5
100 g 样品中多酚含量(g)	1.65	1.97	2.22	0.84	1.18

1:氯仿萃取物;2:乙酸乙酯萃取物;3:正丁醇萃取物;4:水相;5:乙醇总提取物。

2.7 不同极性组分总黄酮含量

由表 6 可见,组分 3 总黄酮含量最高,组分 1 次之,组分 4 含量最低,比原液中含量低 44%。由此可见,青梅中总黄酮萃取能力以正丁醇最强,经氯仿、乙酸乙酯、正丁醇依次萃取后,总黄酮含量降低。

表 6 组分 1~5 总黄酮含量

Table 6 Total flavonoid contents of components 1-5

项目	组分				
	1	2	3	4	5
100 g 样品中黄酮含量(g)	3.06	2.49	5.42	0.69	1.23

1:氯仿萃取物;2:乙酸乙酯萃取物;3:正丁醇萃取物;4:水相;5:乙醇总提取物。

3 讨论

青梅乙醇提取物经氯仿、乙酸乙酯、正丁醇不同

溶剂萃取后得到不同极性的组分,研究结果表明,氯仿萃取物、乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物都具有较好的抗氧化能力,尤以正丁醇萃取物为显著。其中 $FRAP$ 、 $TEAC$ 、 $DPPH$ 、 $ORAC$ 都以正丁醇萃取物为最高,亚硝酸盐清除能力以乙酸乙酯萃取物为最高,正丁醇萃取物亚硝酸盐清除能力与乙酸乙酯萃取物相近。正丁醇萃取物的总黄酮、总多酚含量都最高,总黄酮、总多酚含量与抗氧化能力有基本一致的关联性,由此可推测总黄酮、总多酚是青梅抗氧化能力的物质基础。

参考文献:

- [1] 李庆卫. 梅研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(S1): 116-122.
- [2] 许腊英, 余 鹏, 毛伟伦. 中药乌梅的研究进展[J]. 湖北中医学院学报, 2003, 5(1): 52-57.
- [3] 张连琴. 自由基与疾病[J]. 天津医科大学学报, 1997, 3(2): 85-88.
- [4] 石嘉怿. 青梅花、枝、叶中多酚的抗氧化活性及稳定性的研究[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(9): 171-175.
- [5] ARTS M, DALLINGA S, VOSS H, et al. A new approach to access the total antioxidant capacity using the TEAC assay [J]. Food Chemistry, 2004, 88: 567-570.
- [6] CHRISTIAN M, ANNE-LAURE G, ZIYA G, et al. Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity of thre tropical fruits [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2009, 22(5): 381-387.
- [7] KUMARAN A, KARUNAKARAN R J. Activity-guided isolation and identification of free radical-scavenging components from an aqueous extract of *Coleus aromaticus* [J]. Food Chemistry, 2007, 100: 356-361.
- [8] YINGRONG L, YEAP F L. Antioxidant and radical scavenging activities of polyphenols from apple pomace [J]. Food Chemistry, 2000, 68: 81-85.
- [9] BENZIE I F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay [J]. Anal Biochem, 1996, 239(1): 70-76.
- [10] CAI Y Z, LUO Q, SUN M, et al. Antioxidant activity and phenolic compounds of traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer [J]. Life Sciences, 2004, 74(17): 2157-2184.
- [11] LEE M H, LIN R D, SHEN L Y, et al. Monoamine oxidase B and free radical scavenging activities of natural flavonoids in *Melastoma candidum* D. Don [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(11): 5551-5555.
- [12] 刘 星. 山楂、洋葱提取物清除亚硝酸盐作用条件及机理初探[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.
- [13] 韩 明, 曾庆孝, 肖更生, 等. 青梅醇提物中乙酸乙酯萃取组分的 GC-MS 分析[J]. 林产化工通讯, 2005, 39(3): 18-20.

(责任编辑: 陈海霞)