

UPLC-UV-QDa 联用系统快速分析野生 櫻桃李叶化学成分

Quick determination of chemical constituents in *Prunus cerasifera* Leave by UPLC-UV-QDa

刘 伟 刘天琦 葛豫炜 欧阳艳

LIU Wei LIU Tian-qi GE Yu-wei OU-YANG Yan

(伊犁师范学院新疆维吾尔自治区普通高校天然产物化学与应用重点实验室, 新疆 伊宁 835000)
(University and College Key Lab of Natural Product Chemistry and Application in Xinjiang,
Yili Normal University, Yining, Xinjiang 835000, China)

摘要:采用 UPLC-UV-QDa 联用系统测定了 4 种不同野生櫻桃李叶中黄酮苷元的含量,并对醇提取物成分进行快速分析。结果表明,槲皮素和山奈酚为野生櫻桃李叶主要黄酮苷元。UPLC 测定 2 种苷元可在 7.0 min 内达到基线分离,线性关系良好,平均回收率分别为 98.65% ($RSD=1.08\%$, $n=3$), 102.02% ($RSD=1.17\%$, $n=3$),表明该方法快速、准确、重复性好。不同品种和生长环境的野生櫻桃李叶中黄酮苷元含量有差异,但均以山奈酚为主。阳坡紫果叶山奈酚含量最高为 (7.68 ± 0.45) mg/g,沟谷红果叶最低为 (4.59 ± 0.32) mg/g,总黄酮含量变化幅度为 16.21~33.25 mg/g。通过 UPLC-UV-QDa 联用系统快速鉴别,阳坡紫果叶醇提取物主成分为 1 种单咖啡酰奎宁酸、4 种槲皮素苷、7 种山奈酚苷。

关键词:野生櫻桃李;黄酮苷元;UPLC-UV-QDa 联用;组成分析

Abstract: UPLC-UV-QDa technique, combined with the acidic hydrolysis experiment were applied to quantitative and qualitative analysis flavonoid aglycones and methanol extracts from leaves of four different kinds of *Prunus cerasifera*. The result showed that quercetin and kaempferol were well separated in 7.0 minutes and had good linear relationship, the average recoveries of two flavonoid aglycones were 98.65% and 102.02% with RSD 1.08% ($n=3$) and 1.17% ($n=3$), the method was proved to be fast, accurate and repeatable. There was some difference in the content of flavonoid aglycone from different kinds of *Prunus cerasifera* in different environ-

ment, two flavonoid aglycones were found in all kinds of leaves, while kaempferol was the main composition. The content of kaempferol was the highest in leaves of purple fruit in sunny slope up to (7.68 ± 0.45) mg/g, and the lowest in leaves of red fruit in valleys with (4.59 ± 0.32) mg/g, the content of total flavonoids were from 16.21 to 33.25 mg/g. Composition of extracts from leaves of purple fruit in sunny slope were rapidly identified by UPLC-UV-QDa technique, including one caffeoylquinic acid, four quercetin glycosides and seven kaempferol glycosides. The above results provide theoretical support and technical basis for the further exploitation and utilization of *Prunus cerasifera*.

Keywords: *Prunus cerasifera*; flavonoid aglycone; UPLC-UV-QDa; composition analysis

野生櫻桃李(*Prunus cerasifera*)俗称野酸梅,蔷薇科李属,落叶灌木或小乔木^[1]。植株多分枝,成熟叶片为椭圆形、卵圆形或倒卵形,少数出现椭圆状披针形。就世界范围而言,野生櫻桃李主要分布于中亚天山、高加索、小亚细亚及巴尔干半岛^[2],櫻桃李的野生种在中国仅分布于新疆伊犁地区霍城县的科古尔琴山的大西沟和小西沟等的 10 多条山沟中,集中分布于海拔 1 000~1 600 m 的沟谷和多石砾的阳坡地,已被列为国家 II 级重点保护植物和新疆维吾尔自治区 II 级重点保护植物。中国学者^[3-4]对野生櫻桃李的研究多集中在其生态、栽培及果实营养成分等方面,对其有效成分的提取与活性研究近年来才逐步开展。野生櫻桃李果实抗氧化活性与多酚含量有明显相关性,矢车菊 3-半乳糖苷、矢车菊 3-葡萄糖苷是櫻桃李果皮中含量最多的花色苷^[5-7]。课题组^[8-10]前期研究发现野生櫻桃李叶醇提取物中含有多种黄酮类化合物,具有很好的抗氧化和抑制 α -葡萄糖苷酶活性,为野生櫻桃李叶发挥活性的重要物质基础,但对化学成分的

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金(编号:2017D01C421)

作者简介:刘伟,男,伊犁师范学院实验师,硕士。

通信作者:欧阳艳(1965-),女,伊犁师范学院教授,博士。

E-mail: ylsyoyy@126.com

收稿日期:2018-05-23

分离纯化和鉴定尚未见报道。近年来从天然产物中寻找可能发展为新药的先导化合物的研究备受重视,对于活性物质的快速分析在天然产物研究中具有重要意义。HPLC-MS/MS技术在化学成分研究中的应用已显优势,是天然产物药效物质基础研究的有力手段,但其昂贵的价格以及对使用者的技术要求阻碍了它的普及^[11]。ACQUITY QDa与传统质谱相比较,直观易用,节约时间,能在常规分析中获得具有一致性的高质量质谱数据。本试验拟建立 UPLC 法快速测定野生樱桃李叶黄酮苷元含量的检测方法,利用 UPLC-UV-QDa 联用系统快速分析鉴定野生樱桃李叶中化学成分,为物质基础的导向性分离提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

野生樱桃李叶:分别于2017年9月采自新疆伊犁霍城县大西沟,其中样1紫果叶、样2红果叶均采样于阳坡,样3紫果叶、样4红果叶均采样于沟谷,经伊犁师范学院资源与生态研究所赵玉教授鉴定为蔷薇科野生樱桃李叶,洗净,阴干后60℃烘干至恒重,粉碎过60目筛备用,树叶标本存放于伊犁师范学院资源与生态研究所;

山奈酚、槲皮素、异鼠李素:HPLC \geq 98%,上海源叶生物科技有限公司;

D-半乳糖、D-木糖、L-鼠李糖、D-葡萄糖、L-阿拉伯糖:HPLC \geq 98%,上海源叶生物科技有限公司;

乙醇、盐酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

甲醇、甲酸:色谱纯,阿达玛斯试剂(上海)有限公司;

石油醚(60~90℃):分析纯,天津市北联精细化学品开发有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

超高效液相色谱仪:ACQUITY UPLC H-Class,配备光电二极管矩阵(PDA)检测器,美国 Waters 公司;

质谱仪:ACQUITY QDa 质谱检测器,美国 Waters 公司;

色谱柱:ACQUITY UPLC BEH C₁₈(1.7 μm,2.1 mm×50 mm),美国 Waters 公司;

电子天平:Sartorius BSA124S 型,德国赛多利斯科学仪器有限公司;

集热式磁力加热搅拌器:DF-101S 型,金坛市医疗仪器厂。

1.2 方法

1.2.1 混合标准液的配制 分别精密称取2.5 mg 槲皮素、5.0 mg 山奈酚、2.5 mg 异鼠李素置于25 mL 容量瓶中,无水甲醇超声溶解,冷却后定容,得到质量浓度分别为100,200,100 μg/mL 的标准品储备液。取储备液进行稀释,配制20,40,60,80,100,120,200 μg/mL(以山奈酚计)的混合标准液,过0.22 μm 微孔滤膜,取滤液于4℃保存备用。

1.2.2 样品溶液的制备 称取0.25 g 野生樱桃李(样1)叶2份,加入石油醚(60~90℃)25 mL,水浴加热至沸腾,并保持

微沸1 h,脱脂,去叶绿素,抽滤后将滤渣晾干。其中1份加入无水甲醇25 mL,另1份加入无水甲醇20 mL和4 mol/L的盐酸5 mL,分别于80℃回流3.0 h,抽滤,离心后将滤液用无水甲醇定容至25 mL 容量瓶中,得到野生樱桃李叶醇提物和水解液,取1.0 mL 过0.22 μm 微孔滤膜,取滤液于4℃保存备用。

1.2.3 色谱条件 色谱柱为 ACQUITY UPLC BEH C₁₈(1.7 μm,2.1 mm×50 mm);流动相 A 为 0.1% 甲酸水溶液, B 为 甲醇。标准品和水解样品分析色谱条件 I:梯度洗脱方法为 0~7 min,35%~52% B;7~8 min,52%~100% B;8~9 min,100%~35% B。流速 0.3 mL/min;进样体积 1.0 μL;柱温 30℃;检测波长 360 nm。醇提物分析色谱条件 II:梯度洗脱方法为 0~10 min,5%~22% B;10~11 min,22%~28% B;11~32 min,28%~43% B,流速 0.3 mL/min;进样体积 1.0 μL;柱温 30℃;检测波长 360 nm。

1.2.4 质谱条件 ACQUITY QDa 质谱检测器,Performance 模式;ESI 负离子全扫描,100~800 Da;锥孔电压 15 V,毛细管电压 0.8 kV;离子源温度 600℃;Empower 操作系统。

1.2.5 标准曲线和样品测定 按照 1.2.3 色谱条件进样 1.0 μL,以峰面积(Y)与相应的浓度(X)分别绘制标准曲线,根据标准曲线计算样品中黄酮苷元的含量。

1.2.6 方法学考察 参考文献^[12~13],以预试验优化的色谱条件 I 进行方法学考察。取同一份混合标准品(山奈酚浓度为 100 μg/mL),重复进样 6 次,每次进样 1.5 μL,计算相应保留时间和峰面积的 RSD,考察试验精密密度;取样 1 水解液每隔 2 h 进样 1.5 μL,进样 6 次,计算相应峰面积的 RSD,考察试验稳定性;平行称取 0.25 g 样 1 共 5 份,按照 1.2.2 方法制备水解液,分别进样 1.5 μL,计算槲皮素和山奈酚含量和相应峰面积的 RSD,考察试验重复性;平行称取 0.25 g 样 1 共 6 份,分别向样品中添加低、中、高质量的标准品(相当于样品中含量的 80%,100%,120%),按照 1.2.2 方法制备水解液 6 份,分别进样 1.5 μL,根据标准曲线计算槲皮素和山奈酚的含量、回收率和 RSD,考察试验加标回收率。

1.2.7 样品含量测定 采用外标法测定 4 种不同样品中黄酮苷元的含量,参考 Sticher 等^[14]提出的通过转换因子(槲皮素、山奈酚转换因子分别为 2.51 和 2.64)由黄酮苷元计算总黄酮含量的方法,根据公式计算 4 种不同样品总黄酮含量。

2 结果与分析

2.1 水解试验

由图 1 可知,野生樱桃李叶水解液色谱图中峰 1、峰 2 分别与标准品槲皮素、山奈酚保留时间一致,且表现出相同的特征紫外吸收,可确定峰 1、峰 2 为槲皮素和山奈酚,水解样品中未检测到异鼠李素。取水解液以乙酸乙酯—异丙醇—水为展开剂,通过苯胺—二苯胺—磷酸法显色,发现水解产物中存在鼠李糖、木糖、阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖(极性由小到大)。说明野生樱桃李叶中主要含有以槲皮素和山奈酚为苷元的黄酮类化合物。

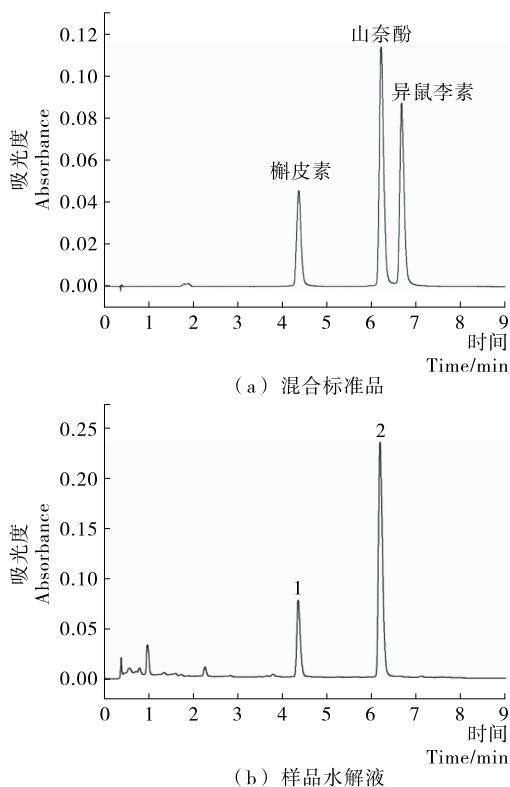


图 1 混合标准品和野生樱桃李叶水解液 UPLC 色谱图
Figure 1 UPLC chromatograms of reference substances and hydrolysates

2.2 标准曲线绘制

按照 1.2.3 色谱条件 I 将不同质量浓度的混合标准液各进样 1.5 μL,以峰面积(Y)与相应的浓度(X)绘制标准曲线并进行线性分析,得到混合标准品的回归方程、相关系数和线性范围,结果见表 1。

2.3 方法学考察

2.3.1 精密度 结果显示,槲皮素、山奈酚、异鼠李素保留时

表 1 标准品的线性关系和精密度考察

Table 1 Linear relationship and precision of three standard samples (n=7)

标准品	回归方程	相关系数	线性范围/ (μg·mL ⁻¹)
槲皮素	Y=11 100X-27 500	0.999 5	10~100
山奈酚	Y=20 800X-73 500	0.999 6	20~200
异鼠李素	Y=19 000X-31 900	0.999 7	10~100

间分别为 4.1,5.9,6.4 min,保留时间 RSD 值分别为 0.86%,0.67%,0.59%;峰面积的 RSD 值分别为 1.08%,0.74%,0.75%,表明仪器的精密度较好。

2.3.2 稳定性 结果显示,槲皮素、山奈酚峰面积的 RSD 分别为 0.98%,0.49%,表明水解液室温下 12 h 内稳定。

2.3.3 重复性 根据标准曲线计算原料中槲皮素和山奈酚平均含量分别为 3.651 4,7.679 6 mg/g,峰面积的 RSD 分别为 1.29%,1.07%,表明方法重复性良好。

2.3.4 加标回收率 由表 2 可知,槲皮素和山奈酚的平均回收率分别为 98.65%,102.02%,RSD 均小于 2%,说明方法的准确度良好。

2.4 样品的测定

由表 3 可知,不同样品所含黄酮苷元中山奈酚含量均明显高于槲皮素,说明野生樱桃李叶中黄酮类成分以山奈酚苷类化合物居多。阳坡样品总黄酮含量均高于沟谷样品,诸姘等^[15]研究发现光照能够强烈地影响植物的初生代谢、植物细胞生长及次生代谢产物积累。分析原因是阳坡日照时间长、辐射强度大、土壤干燥等因素促使野生樱桃李叶产生抗逆性,局部器官或组织合成较多的黄酮类化合物,以利于自身的保护。文献^[16]报道不同遗传背景的植物存在成分和含量差异,与本试验中不同生长环境下紫果叶中黄酮苷元总含量均高于红果叶相吻合。

表 2 野生樱桃李叶中添加标准品的回收率

Table 2 Recoveries of standards in extraction of leaves (n=3)

成分	取样品量/g	成分含量/mg	添加量/mg	检出量/mg	回收率/%	平均回收率/%	RSD/%
槲皮素	0.250 3	0.914 0	0.7	1.609 7	99.55	98.65	1.08
	0.250 5	0.914 7	0.9	1.790 1	97.47		
	0.250 9	0.916 1	1.1	2.001 1	98.93		
	0.251 1	1.928 3	1.5	3.449 4	101.97		
山奈酚	0.250 2	1.921 4	1.9	3.881 5	103.24	102.02	1.17
	0.251 2	1.929 2	2.3	4.229 4	100.85		

表 3 不同供试品中黄酮含量测定

Table 3 Determination of the flavonoids content in different samples (n=3) mg/g

样品	槲皮素	山奈酚	异鼠李素	总黄酮
样 1 阳坡紫果叶	3.75±0.24	7.68±0.45	未检出	29.69±3.56
样 2 阳坡红果叶	2.33±0.13	5.75±0.21	未检出	21.03±1.76
样 3 沟谷紫果叶	3.08±0.17	6.13±0.26	未检出	23.91±2.23
样 4 沟谷红果叶	2.80±0.25	4.59±0.32	未检出	19.15±2.94

2.5 醇提物化学成分

由图 2 可知,醇提物中化合物 1 极性较大且含量较高,化合物 2~9 保留时间集中在 13~18 min,说明化合物极性相近;化合物 10~12 含量较低,各峰之间分离度可满足质谱分析。

ACQUITY QDa 质谱检测器直观易用,摆脱了传统质谱仪的操作复杂性,可快速获得高质量的质谱数据,对化合物进行快速鉴定,补充了诸如 PDA 等光学检测器的不足。本试验基于野生樱桃李叶醇提物化学成分的紫外和质谱数据,结合水解试验,根据课题组前期研究积累经验并参考文献[17~25],对野生樱桃李叶醇提物黄酮成分进行快速分析,结果见表 4。其中 1 号峰 UV λ_{max} 为 219, 230, 326 nm,分子离子峰 m/z 为 353.20 $[M-H]^-$,推测为单咖啡酰奎宁酸^[22,26]。10、11、12 号峰含量较低,质谱数据复杂,未做推断。

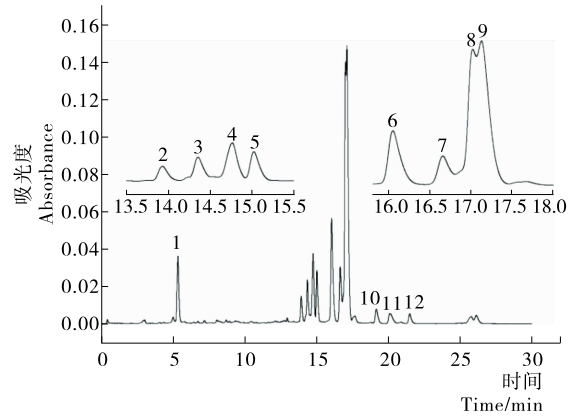


图 2 野生樱桃李叶醇提物 UPLC 谱图

Figure 2 UPLC chromatograms of methanol extract from *Prunus cerasifera* Leave

表 4 野生樱桃李叶醇提物黄酮苷紫外质谱分析结果

Table 4 UV and MS analysis results of flavone glycosides of methanol extract

峰号	保留时间/min	UV λ_{max} /nm	$[M-H]^- (m/z)$	黄酮苷元	推测单糖类型	单糖个数	文献
2	13.927	255, 356	463.25	槲皮素	半乳糖、葡萄糖	单糖	[17~18]
3	14.348	255, 356	463.21	槲皮素	半乳糖、葡萄糖	单糖	[17~18]
4	14.759	264, 349	431.26	山奈酚	鼠李糖	单糖	[19~20]
5	15.027	266, 346	563.22	山奈酚	鼠李糖和阿拉伯糖或木糖	双糖	[19, 21]
6	16.054	255, 351	433.19	槲皮素	木糖苷、阿拉伯糖	单糖	[22~23]
7	16.652	264, 348	609.22	山奈酚	半乳糖、葡萄糖	双糖	[17~18]
8	17.017	264, 346	563.19	山奈酚	鼠李糖和阿拉伯糖或木糖	双糖	[19~20]
9	17.126	264, 344	577.23	山奈酚	鼠李糖	双糖	[24~25]
10	19.175	264, 335	—	山奈酚	—	—	
11	20.106	264, 337	—	山奈酚	—	—	
12	21.495	255, 349	—	槲皮素	—	—	

3 结论

本试验结果表明,以槲皮素和山奈酚为苷元,与鼠李糖、木糖、阿拉伯糖、葡萄糖和半乳糖等缩合而成的黄酮苷为野生樱桃李叶中主要成分。UPLC 测定水解产物中槲皮素和山奈酚的含量在 7 min 内完成,精密度 RSD 值分别为 1.08%, 0.74%, 重复性 RSD 值分别为 1.29%, 1.07%, 稳定性 RSD 值分别为 0.98%, 0.49%, 平均回收率分别为 98.65%, 102.02%, RSD 均小于 2%, 说明该方法快速、准确、可行。4 种不同样品的总黄酮含量为 $(19.15 \pm 2.94) \sim (29.69 \pm 3.56)$ mg/g, 其中阳坡紫果叶 > 沟谷紫果叶 > 阳坡红果叶 > 沟谷红果叶。通过 UPLC-UV-QDa 联用系统快速分析阳坡紫果叶醇提物主成分为 1 种单咖啡酰奎宁酸、4 种槲皮素糖苷、7 种山奈酚糖苷。UPLC-UV-QDa 联用系统使分离和鉴定同时进行,能够快速、准确、有效地鉴别物质。对野生樱桃李叶醇提物化学成分结构的确定,课题组将通过柱色谱和制备色谱等手段分离、纯化后进一步研究。

参考文献

[1] 中国植物志编委会. 中国植物志: 第三十八卷[M]. 北京: 科学

出版社, 1986: 38.
 [2] FAUST M, SURÁNYI D. Origin and dissemination of plums[J]. Horticultural Reviews, 1999, 23: 179-231.
 [3] 刘影, 张相锋, 赵玉, 等. 新疆濒危野生樱桃李的种群结构与动态[J]. 生态学杂志, 2013, 32(7): 1 762-1 769.
 [4] 王春梅, 苏普, 谢天成, 等. 野生樱桃李营养成分及抗氧化功能研究进展[J]. 药物生物技术, 2013, 20(6): 582-585.
 [5] 姜洪芳, 张卫明, 张玖. 樱桃李色素提取及稳定性研究[J]. 中国野生植物资源, 2008, 27(5): 56-59.
 [6] 李紫薇, 欧阳艳, 贾风勤, 等. 野酸梅皮色素抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2011, 36(6): 269-271.
 [7] WANG Yan, CHEN Xiao-liu, ZHANG Yan-min, et al. Antioxidant activities and major anthocyanins of myrobalan plum (*Prunus cerasifera* Ehrh.) [J]. Journal of Food Science, 2012, 77(4): C388-C393.
 [8] 刘伟, 何晓燕, 陈文强, 等. 响应面优化野生樱桃李叶总黄酮的超声辅助提取工艺[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(10): 1 765-1 770.
 [9] 刘伟, 李紫薇, 陈文强, 等. 新疆野生樱桃李枝、叶不同萃取部位抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(3): 119-122.

(下转第 134 页)

8.67%, V_c 分别为 15.77, 8.32 mg/100 g。可见山苍子精油壳聚糖复合涂膜降低了营养物质的消耗, 有效地延缓了金柑的衰老, 拓展了山苍子精油壳聚糖复合涂膜在果蔬保鲜中的应用, 但其保鲜机理还有待于进一步探究。

参考文献

[1] 陈源, 黄贤贵, 余亚白, 等. 金柑果实功能成分研究进展[J]. 中国南方果树, 2014, 43(1): 28-31.
 [2] 李丽, 盛金凤, 孙健, 等. 金桔的营养价值及综合利用现状与前景[J]. 食品工业, 2015, 36(9): 220-224.
 [3] JERZY Bohdziewicz, GABRIEL Czachor. Change of mechanical properties of kumquat (*Citrus Japonica* Thunb.) and cape gooseberry (*Physalis Peruviana* L.) fruits during storage[J]. Agricultural Engineering, 2016, 20(3): 15-25.
 [4] 黎继烈, 彭湘莲, 钟海雁, 等. 臭氧保鲜处理对金橘采后生理的影响[J]. 中国食品学报, 2007, 7(3): 112-115.
 [5] 彭湘莲, 李忠海, 钟海雁, 等. 壳聚糖在金弹金柑保鲜中的应用研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(3): 102-105.
 [6] 王淑娟, 陈明, 陈金印. 葱醌类化合物对遂川金柑采后生理及贮藏效果的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(1): 118-123.
 [7] 李义东, 沈勇根, 上官新晨, 等. 金柑气调保鲜的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 3(4): 345-347, 351.
 [8] 王卫, 李忠海, 黎继烈, 等. 浏阳金柑大棚覆膜保鲜的研究[J]. 北方园艺, 2012(1): 71-73.
 [9] 付红军, 彭湘莲. 壳聚糖涂膜保鲜对金柑采后生理的影响[J]. 食品与机械, 2009, 25(6): 40-42.
 [10] JNAID Y, YACOB R, BSIKIAI. Fantioxidant and antimicrobial activities of *Origanum vulgare* essential oil[J]. International Food Research Journal, 2016, 23(4): 1 706-1 710.

[11] TORRES- ALVAREZ C, NUNEZ GONZALEZ A, RODRIGUEZ J, et al. Chemical composition, antimicrobial, and antioxidant activities of orange essential oil and its concentrated oils[J]. Food Science And Technology, 2017, 15(1): 129-135.
 [12] SUN Xiu-xiu, NARCISO Jan, WANG Zhe, et al. Effects of chitosan-Essential oil coatings on safety and quality of fresh blueberries[J]. Journal of Food Science, 2014, 79(5): 955-960.
 [13] 刘香军. 壳聚糖精油生物涂膜剂对苹果保鲜效果的研究[J]. 中国果菜, 2015, 35(4): 12-16.
 [14] KAROLINA Kasniewska, MALGORTA Gniewosz, OLGA Kosakowsk, et al. Preservation of brussels sprouts by pullulan coating containing oregano essential oil [J]. Journal of Food Protection, 2016, 79(3): 493-500.
 [15] 翁耿. 山苍子化学成分与药理作用研究概述[J]. 海峡药学, 2015, 25(1): 45-46.
 [16] CHEN Hsin-chun, CHANG Wen-te, HSEU You-cheng, et al. Immunosuppressive effect of *Litsea cubeba* L. essential oil on Dendritic Cell and contact hypersensitivity responses[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2016, 17(1 319): 1-11.
 [17] OJAGH S M, RE Zaei M, RAZAVI S H, et al. Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout[J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 193-198.
 [18] 刘杰, 张添, 曾洁. 食品分析实验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 33-36.
 [19] 黎继烈, 彭湘莲, 李忠海, 等. 臭氧对金柑贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2006, 27(12): 157-159.
 [20] 叶翠层, 彭湘莲. 壳聚糖涂膜保鲜对金柑品质的影响[J]. 食品与机械, 2008, 24(3): 52-54.
 [21] 王光慈. 食品营养学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 43.

(上接第 99 页)

[10] 刘伟, 腊萍, 杨如箴, 等. 野生櫻桃李清除 DPPH 自由基能力及抑制 α -葡萄糖苷酶活性[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(17): 183-185.
 [11] 吴文杰, 周伟娥, 张元, 等. LC-MS/MS 技术在中药化学成分分析中的应用[J]. 时珍国医国药, 2016, 27(11): 2 735-2 737.
 [12] 牛广财, 闫公听, 朱丹, 等. Folin-Ciocalteu 比色法测定沙棘酒中总多酚含量的工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 80-83, 142.
 [13] 韩馥蔓, 王莉鑫, 陈影, 等. HPLC 同时测定山豆根中 7 种生物碱及 3 种黄酮的含量[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(24): 4 628-4 634.
 [14] STICHER O. Quality of Ginkgo preparations [J]. Planta Medica, 1993, 59(1): 2-11.
 [15] 诸姮, 胡宏友, 卢昌义, 等. 植物体内的黄酮类化合物代谢及其调控研究进展[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2007, 46(1): 136-143.
 [16] KAUSE A, OSSIPOV V, HAUKIOJA E, et al. Multiplicity of biochemical factors determining quality of growing birch leaves[J]. Oecologia, 1999, 120(1): 102-112.
 [17] LIU Wei, YU Yan-ying, YANG Ru-zhen, et al. Optimization of total flavonoid compound extraction from *Gynura medica* leaf using response surface methodology and chemical composition

analysis[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2010, 11(11): 4 750-4 763.
 [18] LI Chun-yang, FENG Jin, HUANG Wu-yang, et al. Composition of polyphenols and antioxidant activity of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) in Nanjing[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2013, 61(3): 523-531.
 [19] 杨宝, 范真, 朱锦萍, 等. 金鸡脚化学成分研究[J]. 中草药, 2014, 45(21): 3 053-3 056.
 [20] 连冠, 初正云, 王添敏, 等. 刺槐花的化学成分研究(II)[J]. 中草药, 2011, 42(9): 707-709.
 [21] 赵春超, 邵建华, 张玉伟, 等. 凤眼草化学成分的分离与鉴定[J]. 沈阳药科大学学报, 2009, 26(10): 800-802.
 [22] 田平平, 李仁宙, 简永健, 等. 核桃青皮的强抗氧化活性成分及其抗氧化稳定性[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 543-553.
 [23] 柳建军, 刘锡葵. 黄连木食用部位化学成分研究[J]. 中草药, 2009, 40(2): 186-189.
 [24] 梁英, 朱志仁, 潘英明, 等. 罗汉果叶中山奈酚-3,7-O- α -L-二鼠李糖苷的提取及自由基清除活性[J]. 食品与发酵工业, 2010(10): 196-198.
 [25] 巴寅颖, 刘倩颖, 石任兵, 等. 鬼箭羽中黄酮类化学成分研究[J]. 中草药, 2012, 43(2): 242-246.
 [26] 李颖畅, 王玉华, 韩美洲, 等. 蓝莓叶多酚组成成分分析[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 106-110.