

超声-酶提取毛麝香工艺优化及抗氧化活性研究

王呈文, 蔡映举, 范佳伟, 林少弟 (汕头职业技术学院, 广东汕头 515078)

摘要 [目的]优化毛麝香全草的超声-酶辅助法提取工艺,并评价其抗氧化活性。[方法]采用正交试验优选最佳工艺。运用 DPPH 法、ABTS 法、NADH - PMS - NBT 反应体系法和 FRAP 法测定总抗氧化能力 4 种体外抗氧化活性检测方法,并以 V_c 为阳性对照,对比研究毛麝香 4 种不同提取物的抗氧化活性。[结果]最优工艺条件为乙醇浓度 75%、料液比 1:40(g:mL)、超声温度 60 °C、超声时间 30 min、纤维素酶用量 0.6%,此条件下的提取率为 3.48%。毛麝香乙酸乙酯相的抗氧化能力最佳,对清除 3 种自由基(DPPH·、 $ABTS^+ \cdot$ 、 $O_2 \cdot^-$)的 IC_{50} 分别为 126、156 和 512 μ L,总抗氧化能力测定值为 16.7 mg/g。[结论]该提取方法简便、可行,提取物具有良好的抗氧化能力。

关键词 毛麝香;超声-酶辅助;工艺优化;抗氧化

中图分类号 R 284 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)08-0172-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.08.041



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Ultrasonic-enzyme-assisted Extraction Process and Antioxidant Activity of *Adenosma glutinosum*

WANG Cheng-wen, CAI Ying-ju, FAN Jia-wei et al (Shantou Polytechnic, Shantou, Guangdong 515078)

Abstract [Objective] The research aimed to optimize the ultrasonic-enzyme-assisted extraction process of *Adenosma glutinosum* and evaluate its antioxidant activity. [Method] The best process was preferred using orthogonal test. Four methods of *in vitro* antioxidant activity detection by DPPH method, ABTS method, NADH-PMS-NBT reaction system method and FRAP method were used, and V_c was used as a positive control. The antioxidant activities of four different extracts of *Adenosma glutinosum* were compared. [Result] The optimal process conditions were obtained as follow: ethanol concentration of 75%, solid-liquid ratio of 1:40 (g:mL), ultrasonic temperature of 60 °C, ultrasonic time of 30 min and cellulase dosage of 0.6%. The extraction rate of this condition was 3.48%. The ethyl acetate fraction of *Adenosma glutinosum* had the strongest antioxidant capacity. The IC_{50} of ethyl acetate fraction for removing three kinds of free radicals (DPPH·, $ABTS^+ \cdot$, $O_2 \cdot^-$) was 126, 156 and 512 μ L, respectively, and the total antioxidant capacity was 16.7 mg/g. [Conclusion] The extraction method is simple and feasible, and the extract exhibited strong antioxidant activity.

Key words *Adenosma glutinosum*; Ultrasonic-enzyme-assisted; Process optimization; Antioxidant activity

毛麝香 [*Adenosma glutinosum* (L.) Druce] 为玄参科毛麝香属植物,属直立本草,别名麝香草、凉草、五凉草、酒子草、毛老虎、饼草、香草(广西)等,分布在我国南部,是一种药用性较强的适应性野生药用植物,具有杀菌、消炎、祛风止痛、散瘀消肿、解毒止痛等功效。有学者对毛麝香进行了挥发油化学成分的研究及乙醇提取物化学成分的研究,并分离得到 23 个化合物。目前对毛麝香的基础性研究还不够深入和全面,产业化发展程度较低,主要集中为种植及普通的干草药物销售上,而一些高附加值的深加工产品目前尚未开发,没有充分发掘其价值^[1-6]。

超声-酶辅助提取法是一种较新的提取技术,快速方便可行。超声提取的主要理论依据是超声的空化效应、热效应和机械作用。当大能量的超声波作用于介质时,介质被撕裂成许多小空穴,这些小空穴瞬时闭合,并产生高达几千个大气压的瞬间压力,即空化现象。超声空化中微小气泡的爆裂会产生极大的压力,使植物细胞壁及整个生物体的破裂在瞬间完成,缩短了破碎时间,同时超声波产生的振动作用加强了胞内物质的释放、扩散和溶解,从而显著提高提取效率。纤维素酶能够破坏细胞壁,增加溶剂穿透力,高效快速提取细胞内物质,提高了传质速率,对提取物的结构和活性不产生影响,从而提高提取率和缩短提取时间。目前,对于毛麝香的超声-酶辅助法提取工艺及其抗氧化活性的系统研究鲜

见相关报道。该试验通过设计 5 因素 5 水平正交试验,对毛麝香的超声-酶辅助法提取工艺进行优化,并进行 4 种不同自由基的系列抗氧化活性的测试,为进一步科学合理地利用和开发毛麝香的药用价值提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试材 毛麝香,采购自广东汕头药材市场,产地为广东潮汕地区;DPPH·、纤维素酶(400 U/mg),福州飞净生物科技有限公司; $ABTS^+ \cdot$ 、NBT、PMS、NADH、 V_c 标准品,上海如吉生物科技发展有限公司;总抗氧化能力检测试剂盒(FRAP法),上海碧云天生物技术有限公司;其余试剂均为国药或西陇的分析纯。

1.2 仪器 TU-1810 紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司;DNM-9602 自动酶标分析仪,北京普朗新技术有限公司;超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;真空冷冻干燥器,杭州聚同电子有限公司;万分之一电子分析天平,赛多利斯(Sartorius)科学仪器(北京)有限公司;大龙移液枪及枪头;其余仪器均为实验室常用试验分析仪器。

1.3 方法

1.3.1 超声-酶辅助法提取毛麝香工艺优化。

1.3.1.1 样品溶液的配制。称取 1 g 粉粹好的毛麝香,采用超声协同纤维素酶辅助提取法对毛麝香抗氧化活性物质进行提取,提取后,用高速离心机分离,取上清液,再使用 0.45 μ m 微孔滤膜再次过滤,用容量瓶定容至 50 mL,待测^[7-12]。

1.3.1.2 DPPH·的清除试验。用无水乙醇配制 0.10 mmol/L

作者简介 王呈文(1984—),女,福建福州人,助理实验师,硕士,从事天然产物化学研究。

收稿日期 2020-01-07

的 DPPH· 溶液, 现配现用并避光^[11-15]。取 0.10 mmol/L 的 DPPH· 溶液 6 mL, 往其中加 0.5 mL 样品溶液, 混合, 避光暗处静置 30 min 后, 519 nm 处测吸光度 $A_{\text{待测样}}$ 。取 6 mL 的无水乙醇, 往其中加 0.5 mL 样品溶液, 混合, 519 nm 处测吸光度 $A_{\text{待测样空白对照}}$ 。取 0.10 mmol/L 的 DPPH· 溶液 6 mL, 再加 0.5 mL 的无水乙醇, 混合, 避光暗处静置 30 min 后, 519 nm 处测吸光度 $A_{\text{DPPH·空白对照}}$ 。按照公式(1) 计算各样品溶液的 DPPH· 清除率, 试验重复 3 次, 取平均值。

$$\text{DPPH·清除率} = \frac{1 - (A_{\text{待测样}} - A_{\text{待测样空白对照}})}{A_{\text{DPPH·空白对照}}} \times 100\% \quad (1)$$

1.3.1.3 正交试验。参考文献并通过预试验, 得出乙醇浓度(A)、料液比(B)、超声温度(C)、超声时间(D)、纤维素酶用量(E)是影响毛麝香提取物抗氧化活性的主要因素, 故设计 5 因素 5 水平用正交表 $L_{25}(5^6)$ 安排试验, 以 DPPH· 的清除率为评价指标, 筛选最佳提取工艺。

表 1 $L_{25}(5^6)$ 正交试验的因素和水平

Table 1 Factors and levels of $L_{25}(5^6)$ orthogonal test

水平 Level	A(乙醇浓度 Ethanol concentration %)	B(料液比 Solid- liquid ratio)	C(超声温度 Ultrasonic temperature °C)	D(超声时间 Ultrasonic time min)	E(纤维素 酶用量 Cellulase dosage//%
1	40	1:10	常温	20	0.05
2	60	1:20	30	30	0.10
3	75	1:25	40	40	0.30
4	90	1:30	50	50	0.60
5	无水乙醇	1:40	60	60	1.00

1.3.2 毛麝香提取物的抗氧化活性研究。

1.3.2.1 毛麝香提取物的制备。将毛麝香全草自然晾干, 用粉碎机粉碎成粉末, 称取毛麝香粉末质量 1 kg, 按照正交试验的最佳提取工艺条件进行提取, 重复 3 次, 合并提取液, 旋转蒸发器减压浓缩得到粗提物浸膏, 将部分粗提物浸膏真空冷冻干燥至恒重, 待用; 另一部分粗提物浸膏用超纯水重新分散溶解, 依次用体积比为 1:1 的石油醚、乙酸乙酯各萃取 5 次, 分别减压浓缩得到石油醚相浸膏、乙酸乙酯相浸膏和剩余水相浸膏, 真空冷冻干燥至恒重, 各冻干物冷藏保存待用。

1.3.2.2 样品液的配制。分别准确称取 0.010 0 g 毛麝香乙醇粗提物、石油醚相、乙酸乙酯相和剩余水相冻干物, 用无水乙醇溶解并定容至 10 mL, 配制成 1 mg/mL 的样品液, 待测。

1.3.2.3 DPPH·清除能力测定。用无水乙醇配制 0.10 mmol/L 的 DPPH· 溶液, 现配现用并避光^[11-14]。取 0.10 mmol/L 的 DPPH· 溶液 4 mL, 往其中准确加入 $x \mu\text{L}$ 不同体积的 1 mg/mL 的样品液(根据预试结果设用量梯度), 再准确加入 $(2\ 000-x) \mu\text{L}$ 的无水乙醇, 混合, 避光暗处静置 30 min 后, 519 nm 处测吸光度 $A_{\text{待测样}}$ 。准确加入 $x \mu\text{L}$ 不同体积的 1 mg/mL 样品液(根据预试结果设梯度), 再加 $(6\ 000-x) \mu\text{L}$ 的无水乙醇, 混合, 519 nm 处测吸光度 $A_{\text{待测样空白对照}}$ 。取 0.10 mmol/L 的 DPPH· 溶液 4 mL, 再加 2 mL 的无水乙醇, 混合, 避光暗处静置 30 min 后, 519 nm 处测吸光度 $A_{\text{DPPH·空白对照}}$ 。另以 $x \mu\text{L}$ 不同体积的 1 mg/mL 的 V_c 溶液

(根据预试结果设用量梯度)作为阳性对照。按照公式(1) 计算各溶液的 DPPH· 清除率, 试验重复 3 次, 取平均值。

1.3.2.4 ABTS⁺·清除能力测定。用超纯水配制 2.45 mmol/L 过硫酸钾和 7 mmol/L ABTS⁺·混合溶液, 避光并静置 16 h, 配制成 ABTS⁺·储备液。临用前用超纯水稀释至吸光度 $A_{734\text{nm}} = 0.70 \pm 0.02$ 的 ABTS⁺·测试液^[11-14]。

取 0.10 mmol/L 的 ABTS⁺·测试液 4 mL, 往其中准确加入 $x \mu\text{L}$ 不同体积的 1 mg/mL 的样品液(根据预试结果设用量梯度), 再准确加入 $(2\ 000-x) \mu\text{L}$ 的无水乙醇, 混合, 避光暗处静置 6 min 后, 734 nm 处测吸光度 $A_{\text{待测样}}$ 。准确加入 $x \mu\text{L}$ 不同体积的 1 mg/mL 的样品液(根据预试结果设梯度), 再加 $(2\ 000-x) \mu\text{L}$ 的无水乙醇、4 mL 超纯水, 混合, 734 nm 处测吸光度 $A_{\text{待测样空白对照}}$ 。取 0.10 mmol/L 的 ABTS⁺·测试液 4 mL, 再加 2 mL 的无水乙醇, 混合, 避光暗处静置 6 min 后, 734 nm 处测吸光度 $A_{\text{ABTS·空白对照}}$ 。另以 $x \mu\text{L}$ 不同体积的 1 mg/mL 的 V_c 溶液(根据预试结果设用量梯度)作为阳性对照。按照公式(2) 计算各溶液的 ABTS⁺·清除率, 试验重复 3 次, 取平均值。

$$\text{ABTS}^+ \cdot \text{清除率} = \left[\frac{1 - (A_{\text{待测样}} - A_{\text{待测样空白对照}})}{A_{\text{ABTS·空白对照}}} \right] \times 100\% \quad (2)$$

1.3.2.5 O₂⁻清除能力测定。用超纯水分别配制 0.3 mmol/L 的 NBT 磷酸缓冲液(0.1 mol/L, pH = 7.4)、0.936 mmol/L 的 NADH 磷酸缓冲液(0.1 mol/L, pH = 7.4)和 0.120 mmol/L 的 PMS 磷酸缓冲液(0.1 mol/L, pH = 7.4)^[14-15]。

依次分别加入 1.5 mL 的以上 3 种磷酸缓冲液, 再往其中准确加入 $x \mu\text{L}$ 不同体积的 1 mg/mL 的样品液(根据预试结果设用量梯度), 再准确加入 $(1\ 500-x) \mu\text{L}$ 的无水乙醇, 混合, 避光暗处静置 5 min 后, 560 nm 处测吸光度 $A_{\text{待测样}}$ 。准确加入 $x \mu\text{L}$ 不同体积的 1 mg/mL 的样品液(根据预试结果设梯度), 再加 $(1\ 500-x) \mu\text{L}$ 的无水乙醇、4.5 mL 超纯水, 混合, 560 nm 处测吸光度 $A_{\text{待测样空白对照}}$ 。依次分别加入 1.5 mL 的以上 3 种磷酸缓冲液, 再加 1.5 mL 的无水乙醇, 混合, 避光暗处静置 5 min 后, 560 nm 处测吸光度 $A_{\text{O}_2^- \cdot \text{空白对照}}$ 。另以 $x \mu\text{L}$ 不同体积的 1 mg/mL 的 V_c 溶液(根据预试结果设用量梯度)作为阳性对照。按照公式(3) 计算各溶液的 O₂⁻清除率, 试验重复 3 次, 取平均值。

$$\text{O}_2^- \cdot \text{清除率} = \frac{1 - (A_{\text{待测样}} - A_{\text{待测样空白对照}})}{A_{\text{O}_2^- \cdot \text{空白对照}}} \times 100\% \quad (3)$$

1.3.2.6 FRAP 法测定总抗氧化能力。用超纯水分别配制 10 mmol/L TPTZ 溶液(40 mmol/L 盐酸溶液配制)、100 mmol/L 醋酸缓冲液(pH = 3.6)和 20 mmol/L 氯化铁溶液, 按 10:1:1 的比例进行混匀后得 RFAP 测试液, 现配现用。取 3.9 mL RFAP 测试液, 加入 0.1 mL 0.5 mg/mL 的待测样品溶液(浓度根据预试结果设置), 充分混匀后, 在 37 °C 的恒温水浴中反应 10 min, 于 593 nm 下测定吸光度, 以无水乙醇为空白对照。结果表达为每 1 g 干重相当于 Trolox 还原力的相当量(mg Trolox equivalent antioxidant capacity/g dry weight, mg TEAC/g DW), 试验重复 3 次, 取平均值^[14-15]。

2 结果与分析

2.1 超声-酶辅助法提取毛麝香正交试验 由正交试验的测定结果(表2)可以分析因素影响的次序, R 值越大,影响越大, $R_A > R_B > R_C > R_E > R_D$,即影响毛麝香提取物抗氧化活性的因素的主次顺序为乙醇浓度(A)>料液比(B)>超声温度(C)>纤维素酶用量(E)>超声时间(D);同时分析 k 值,可得出最优组合为 $A_3B_5C_5D_2E_4$,即乙醇浓度75%、料液比1:40(g:mL)、超声温度60℃、超声时间30min、纤维素酶用量0.6%,此最佳工艺条件的毛麝香乙醇粗提物的提取率为3.48%。

表2 正交试验结果
Table 2 Orthogonal experiment results

试验号 No.	A	B	C	D	E	DPPH·清除率 DPPH· clearance rate//%
1	1	1	1	1	1	42.89
2	1	2	2	2	2	48.81
3	1	3	3	3	3	51.64
4	1	4	4	4	4	56.49
5	1	5	5	5	5	60.79
6	2	1	2	3	4	47.82
7	2	2	3	4	5	49.66
8	2	3	4	5	1	49.04
9	2	4	5	1	2	60.61
10	2	5	1	2	3	60.39
11	3	1	3	5	2	48.98
12	3	2	4	1	3	56.98
13	3	3	5	2	4	65.13
14	3	4	1	3	5	55.31
15	3	5	2	4	1	54.54
16	4	1	4	2	5	52.68
17	4	2	5	3	1	51.23
18	4	3	1	4	2	47.38
19	4	4	2	5	3	49.05
20	4	5	3	1	4	51.34
21	5	1	5	4	3	45.99
22	5	2	1	5	4	45.18
23	5	3	2	1	5	44.51
24	5	4	3	2	1	45.28
25	5	5	4	3	2	50.73
k_1	52.12	47.67	50.23	51.27	48.59	
k_2	53.51	50.37	48.95	54.46	51.31	
k_3	56.19	51.54	49.38	51.35	52.81	
k_4	50.34	53.35	53.18	50.81	53.19	
k_5	46.34	55.56	56.75	50.61	52.59	
R	0.098 5	0.078 9	0.078 1	0.038 5	0.045 9	

2.2 毛麝香提取物的抗氧化活性比较 试验结果表明(表3),毛麝香乙醇粗提物及其不同极性组分均有一定的抗氧化能力,其中乙酸乙酯极性组对于清除3种自由基(DPPH·、ABTS⁺·、O₂·⁻)的IC₅₀值分别为126、156和512 μL,总抗氧化能力测定值为16.7 mg/g,是4种不同提取物中抗氧化能力最强的组分,但抗氧化能力略低于阳性对照(V_c)组。其余3个提取物在4种抗氧化评价体系中也均表现出相同的变化趋势,抗氧化活性强弱从大到小依次为乙酸乙酯相>乙醇粗提物>剩余水相>石油醚相。乙酸乙酯组分中多为中等极性的成分,其含有较丰富的具有良好抗氧化功效的多酚、黄酮类化合物。

表3 毛麝香各提取物的抗氧化活性比较

Table 3 Comparison of antioxidant activities of each extract of *Adenosma glutinosum*

待测样品 Test sample	IC ₅₀ //μL			FRAP 法总 抗氧化能力 Antioxidant activity detected by FRAP method mg/g
	DPPH·	ABTS ⁺ ·	O ₂ · ⁻	
乙醇粗提物 Crude ethanol extract	323	389	732	9.0
石油醚相 Petroleum ether phase	631	801	1250	4.8
乙酸乙酯相 Ethyl acetate phase	126	156	512	16.7
剩余水相 Remaining water phase	478	493	920	7.8
V _c	87	133	365	20.3

2.3 重复性试验 取5份试样,按照最佳提取工艺进行提取,毛麝香乙醇粗提物的提取率分别为3.38%、3.42%、3.59%、3.48%、3.63%,并用其进行DPPH·清除能力测定,得到的IC₅₀值分别为310、332、308、315、335。

3 结论

超声-酶辅助提取法高效简便,且提高了毛麝香有效成分的提取率,是一种较为理想的毛麝香抗氧化活性成分的提取方法。通过5因素5水平的正交试验,得出影响毛麝香提取物抗氧化活性的因素的主次顺序为乙醇浓度(A)>料液比(B)>超声温度(C)>纤维素酶用量(E)>超声时间(D),以及最优工艺条件为乙醇浓度75%、料液比1:40(g:mL)、超声温度60℃、超声时间30min、纤维素酶用量0.6%,此最佳工艺条件下毛麝香乙醇粗提物的提取率为3.48%,而没有加入纤维素酶辅助提取的提取率仅为2.61%。

抗氧化活性试验采用了4种抗氧化评价方法,较为系统客观地对比分析了毛麝香乙醇粗提物及其不同极性组分(乙醇粗提物、石油醚相、乙酸乙酯相、剩余水相)的抗氧化活性,结果表明4种不同提取物均有一定的抗氧化能力,也均表现出相同的变化趋势,抗氧化活性强弱从大到小依次为乙酸乙酯相>乙醇粗提物>剩余水相>石油醚相,其中乙酸乙酯相的抗氧化活性最佳,但抗氧化效果略低于阳性对照(V_c)组。

参考文献

- [1] 汪存存,卫罡,李润美.毛麝香挥发油成分的GC-MS分析[J].中国中医药信息杂志,2008,15(2):36-37.
- [2] 潘文昭.毛麝香的药用功效[J].农村新技术,2013(3):46.
- [3] 杨东娟,詹怀先,石磊.毛麝香叶挥发油化学成分研究[J].西北林学院学报,2013,28(2):164-167.
- [4] 谭冰心.毛麝香(*Adenosma glutinosum*(L.)Druce)化学成分研究[D].广州:广州中医药大学,2017.
- [5] 谭冰心,彭光天,于思,等.毛麝香的化学成分研究[J].中草药,2017,48(10):2024-2027.
- [6] 于思,彭光天,雷玉,等.毛麝香的化学成分研究(II)[J].中山大学学报(自然科学版),2018,57(3):89-95.
- [7] 包怡红,王硕,王文琼,等.超声波酶法提取红松树皮中多酚类化合物的研究[J].食品工业科技,2013,34(3):232-236.
- [8] 王彦平,杨庆莹,孙瑞琳,等.不同酶法辅助提取紫山药皮薯蓣皂苷及其抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2017,38(10):200-204.

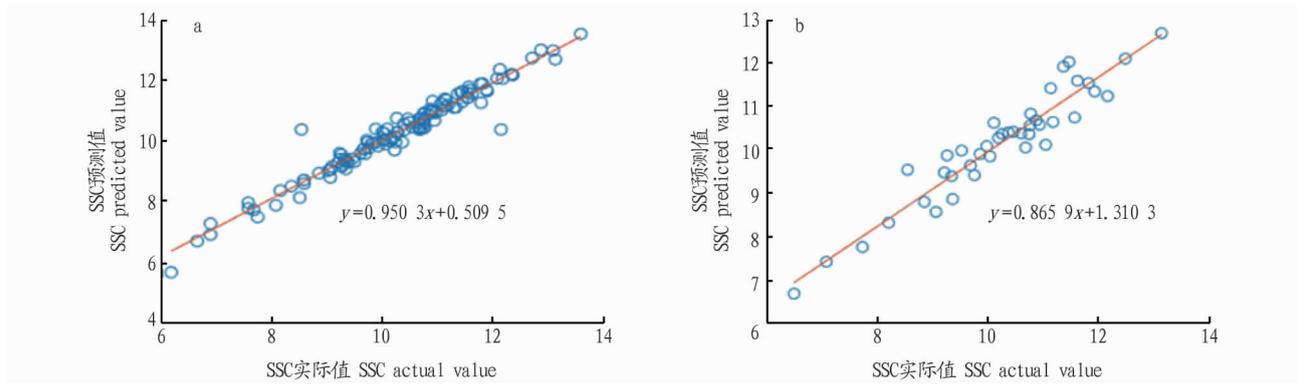


图3 CARS-PLS模型对校正集样本(a)和预测集样本(b)的预测结果散点图

Fig.3 Scatter plots of the prediction results of the CARS-PLS model on the calibration set samples (a) and the prediction set samples (b)

参考文献

- [1] XIE L J, WANG A C, XU H R, et al. Applications of near-infrared systems for quality evaluation of fruits: A Review [J]. Transactions of the ASABE, 2016, 59(2): 399-419.
- [2] PARK E, LUO Y G, MARINE S C, et al. Consumer preference and physico-chemical evaluation of organically grown melons [J]. Postharvest biology and technology, 2018, 141: 77-85.
- [3] BURDON J, PIDAKALA P, MARTIN P, et al. Fruit maturation and the soluble solids harvest index for 'Hayward' kiwifruit [J]. Scientia horticulturae, 2016, 213: 193-198.
- [4] OH S B, MUNEER S, KWACK Y B, et al. Characteristic of fruit development for optimal harvest date and postharvest storability in 'Skinny Green' baby kiwifruit [J]. Scientia horticulturae, 2017, 222: 57-61.
- [5] JIANG B, HE J R, YANG S Q, et al. Fusion of machine vision technology and AlexNet-CNNs deep learning network for the detection of postharvest apple pesticide residues [J]. Artificial intelligence in agriculture, 2017, 1: 1-8.
- [6] LI J L, SUN D W, CHENG J H. Recent advances in nondestructive analytical techniques for determining the total soluble solids in fruits: A review [J]. Comprehensive reviews in food science and food safety, 2016, 15(5): 897-911.
- [7] 马本学, 应义斌, 饶秀勤, 等. 高光谱成像在水果内部品质无损检测中的研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(6): 1611-1615.
- [8] KAWANO S, ABE H, IWAMOTO M. Development of a calibration equation with temperature compensation for determining the Brix value in intact peaches [J]. Journal of near infrared spectroscopy, 1995, 3(4): 211-218.
- [9] 李江波, 彭彦昆, 陈立平, 等. 近红外高光谱图像结合 CARS 算法对鸭梨 SSC 含量定量测定[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(5): 1264-1269.
- [10] 饶利波, 陈晓燕, 庞涛. 基于光谱技术的 BiPLS 算法结合 CARS 算法的苹果可溶性固形物含量检测[J]. 发光学报, 2019, 40(3): 389-395.
- [11] TIAN X, FAN S X, LI J B, et al. Comparison and optimization of models for SSC on-line determination of intact apple using efficient spectrum optimization and variable selection algorithm [J]. Infrared physics and technology, 2019, 102: 1-11.
- [12] PAZ P, SANCHEZ M T, PEREZ-MARIN D, et al. Instantaneous quantitative and qualitative assessment of pear quality using near infrared spectroscopy [J]. Computers and electronics in agriculture, 2009, 69: 24-32.
- [13] CAO F, WU D, HE Y. Soluble solids content and pH prediction and varieties discrimination of grapes based on visible-near infrared spectroscopy [J]. Computers and electronics in agriculture, 2010, 71S: S15-S18.
- [14] WANG J, NAKANO K, OHASHI S. Nondestructive evaluation of jujube quality by visible and near-infrared spectroscopy [J]. LWT- Food Science and Technology, 2011, 44: 1119-1125.
- [15] MOGHIMI A, AGHKHANI M H, SAZGARNIA A, et al. Vis/NIR spectroscopy and chemometrics for the prediction of soluble solids content and acidity (pH) of kiwifruit [J]. Biosystems engineering, 2010, 106(3): 295-302.
- [16] 刘燕德, 施宇, 蔡丽君, 等. 基于 CARS 算法的脐橙可溶性固形物近红外在线检测[J]. 农业机械学报, 2013, 44(9): 138-144.
- [17] JAISWAL P, JHA S N, BHARADWAJ R. Non-destructive prediction of quality of intact banana using spectroscopy [J]. Scientia horticulturae, 2012, 135: 14-22.
- [18] 王世芳, 韩平, 崔广禄, 等. SPXY 算法的西瓜可溶性固形物近红外光谱检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(3): 738-742.
- [19] LI H D, LIANG Y Z, XU Q S, et al. Key wavelengths screening using competitive adaptive reweighted sampling method for multivariate calibration [J]. Analytica chimica acta, 2009, 648: 77-84.
- [9] 张健, 刘少伟, 张毅, 等. 仿刺参精酶解工艺条件优化及体外抗氧化[J]. 食品工业科技, 2017, 38(5): 232-237.
- [10] 原姣姣, 陈锦璇, 张帆, 等. 响应面优化超声_酶辅助强化油橄榄叶多糖的提取[J]. 中国油脂, 2019, 44(4): 128-132.
- [11] 王呈文, 纪明慧, 舒火明, 等. 牛大力总黄酮提取工艺及不同萃取物的抗氧化活性研究[J]. 化学研究与应用, 2013, 25(5): 713-717.
- [12] 王呈文, 纪明慧, 陈光英, 等. 热带莫氏兰根提取物的抗氧化活性及稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(5): 209-211, 217.
- [13] 王国良, 李建科, 吴晓霞, 等. 水麻果多酚的提取纯化及其抗氧化、抗肿瘤活性作用[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(1): 1-9.
- [14] GE Y, DUAN Y F, FANG G Z, et al. Polysaccharides from fruit calyx of *Physalis alkekengi* var. *francheti*: Isolation, purification, structural features and antioxidant activities [J]. Carbohydrate polymers, 2009, 77: 188-193.
- [15] 楚秉泉, 方若思, 李玲, 等. 洋甘菊各萃取相抗氧化活性及其有效成分分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(8): 1-6.

(上接第 174 页)