

银杏叶色素超声辅助提取工艺优化及其稳定性研究

Study on the optimization of ultrasonic assisted extraction and stability of pigments obtained from leaves of *Ginkgo biloba* L.

李玲^{1,2,3} 闫旭宇^{1,3}

LI Ling^{1,2,3} YAN Xu-yu^{1,3}

(1. 湖南科技学院化学与生物工程学院, 湖南 永州 425199; 2. 湖南省银杏工程技术研究中心, 湖南 永州 425199;

3. 延安大学生命科学学院, 陕西 延安 716000)

(1. Department of Chemistry and Biological Engineering, Hunan University of Science and Engineering, Yongzhou, Hunan 425199, China; 2. Hunan Provincial Engineering Research Center for *Ginkgo biloba*, Yongzhou, Hunan, 425199, China; 3. College of Life Science, Yanan University, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

摘要:以银杏叶为研究对象,采用超声辅助乙醇提取其色素,在单因素试验基础上,通过正交试验优化银杏叶色素的提取条件,研究酸碱度、温度、金属离子和光照对银杏叶色素稳定性的影响。结果表明,银杏叶色素最佳提取工艺为:乙醇浓度95%, pH值6.0,提取温度60℃,提取时间2 h,该条件下银杏叶色素的吸光度为0.831。稳定性试验结果表明:银杏叶色素在弱酸和弱碱条件下较稳定;对金属离子Na⁺、Ca²⁺比较稳定,对Fe³⁺、Cu²⁺、Mg²⁺不稳定;70℃以上的高温会促进银杏叶色素分解;银杏叶色素对日光和室内光均不稳定,宜避光保存。

关键词:银杏叶;色素;提取;稳定性

Abstract: The pigments were obtained from leaves of *Ginkgo biloba* L. using ultrasound-assisted ethanol extraction method. The main influence factors of pigments extraction were selected from the results of single factor test and optimized by orthogonal experimental design, and its stability to pH, temperature, metal ions and light was studied. The optimum extraction technology was using the ethanol concentration of 95%, with the pH value 6.0, extracted at 60℃ for 2 h. Under this condition, the absorbance of pigments was 0.831. The stability results indicated that the pigments was stable in acidic and alkine media, and was stable to Na⁺ and Ca²⁺, but unstable to Fe³⁺, Cu²⁺ and Mg²⁺ relatively. It would accelerate the pigments decomposition when the temperature was higher than 70℃, and it had instability to the sunlight and indoor light, so it should be stored away from light.

基金项目:湖南省教育厅科学研究项目(编号:17B108);湖南科技学院科学研究项目(编号:16XKY065)

作者简介:李玲(1982—),女,湖南科技学院副教授,博士。

E-mail: liling7826@126.com

收稿日期:2017-07-30

Keywords: *Ginkgo biloba* leaves; pigments; extraction; stability

银杏(*Ginkgo biloba* L.)为银杏科银杏属植物,现代化学及药理研究表明,银杏叶的活性成分主要是黄酮类化合物和萜内酯类化合物^[1],具有抗氧化、抑制血小板聚集、扩张动脉血管、降血糖、调血脂等药理作用,在临床上用来治疗血栓、炎症和心血管疾病^[2]。目前,国内外学者先后对银杏化学成分^[3]、药理作用^[4]及临床应用^[5]做了大量研究,主要集中在黄酮、内酯及多糖的分离纯化,以及相关制剂的制备生产方面,但关于银杏叶色素提取及其稳定性方面的研究报道比较少。刘咏等^[6]曾采用洗滤法对银杏色素进行提取并研究其稳定性;文亦夫等^[7]曾采用石油醚浸提法对银杏色素进行提取并研究其稳定性;赵磊等^[8]曾采用微波法、水浴法、超声波提取法对银杏黄色素进行提取并研究其染色性能。目前,还未见利用超声辅助乙醇提取银杏色素稳定性方面的报道。

由于不同方法提取的银杏色素稳定性有一定的差异。同时,考虑到银杏叶色素作为天然食品着色剂的用途,本研究拟采用超声辅助乙醇提取银杏叶色素,利用正交试验优化银杏叶色素的提取工艺,并研究了酸、碱、热、金属离子和光照等因素对银杏叶色素稳定性的影响,以期为进一步开发银杏资源提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

银杏叶:采自湖南永州桐子坳;

无水乙醇、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、氯化钠、氯化镁、氯化钙、氯化铜、氯化铁:分析纯,天津市福晨化学试剂厂。

1.1.2 仪器与设备

电热鼓风干燥箱:WG-71型,天津市泰斯特仪器有限公司;

中草药粉碎机:FW177型,天津市泰斯特仪器有限公司;

电子分析天平:JA3003型,上海舜宇恒平科技仪器有限公司;

可见分光光度计:721型,浙江赛德仪器设备有限公司;
电热恒温水浴锅:DK-98-II A型,上海百典仪器设备有限公司;

旋转蒸发器:YRE-2010-II型,郑州长城科工贸有限公司;

超声波清洗仪:BL3-120型,上海比朗仪器制造有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 银杏叶色素的提取 新鲜银杏叶于60℃干燥至恒重,粉碎过80目筛,放入50 mL锥形瓶中,加入乙醇,摇匀,在一定温度下超声(300 W)辅助浸提,离心过滤取上清液,即为银杏叶色素提取液。

1.2.2 银杏叶色素吸光度的确定 取10.0 mL色素提取液,蒸馏水稀释并定容至100 mL,用可见分光光度计在420~450 nm波长范围内测定吸收光谱,确定其最佳吸收波长。

1.2.3 单因素试验

(1) 乙醇浓度的选择:固定溶液pH值6.0、料液比1:20(g/mL)、提取温度60℃、提取时间90 min,乙醇浓度分别设置为80%,85%,90%,95%,100%,平行试验3次,研究乙醇浓度对银杏叶色素吸光度的影响。

(2) 料液比的选择:固定溶液pH值6.0、乙醇浓度95%、提取温度60℃、提取时间90 min,料液比分别设置为1:10,1:15,1:20,1:25,1:30(g/mL),平行试验3次,研究料液比对银杏叶色素吸光度的影响。

(3) pH值的选择:固定乙醇浓度95%、料液比1:20(g/mL)、提取温度60℃、提取时间90 min,pH值分别设置为4,5,6,7,8,平行试验3次,研究pH值对银杏叶色素吸光度的影响。

(4) 提取温度的选择:固定溶液pH值6.0、乙醇浓度95%、料液比1:20(g/mL)、提取时间90 min,提取温度分别设置为40,50,60,70,80℃,平行试验3次,研究提取温度对银杏叶色素吸光度的影响。

(5) 提取时间的选择:固定溶液pH值6.0、乙醇浓度95%、料液比1:20(g/mL)、提取温度60℃时,提取时间分别设置为0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 h,平行试验3次,研究提取时间对银杏叶色素吸光度的影响。

1.2.4 正交试验 在单因素试验的基础上,选择4个影响较大的因素作为正交试验因素,采用 $L_9(3^4)$ 正交设计对其进行优化,得出超声辅助乙醇提取银杏叶色素的最佳工艺条件。

1.2.5 稳定性试验

(1) 酸碱对银杏叶色素稳定性影响:准确吸取1 mL银杏叶色素提取液,定容至10 mL,用磷酸缓冲液调节pH值

分别为2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,静置1 h,在最佳波长处测定其吸光度。

(2) 温度对银杏叶色素稳定性影响:准确吸取1 mL银杏叶色素提取液,定容至10 mL,分别在20,30,40,50,60,70,80,90℃水浴30 min,在最佳波长处测定其吸光度值。

(3) 金属离子对银杏叶色素稳定性影响:准确吸取5 mL银杏叶色素提取液,分别置于5支试管中,与0.1 mol/L的 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Ca^{2+} 溶液以1:1的体积比振荡混合,室温静置6 h,在最佳波长处测定其吸光度。

(4) 光照对银杏叶色素稳定性影响:准确吸取2 mL银杏叶色素提取液,定容至20 mL,静置,分别在日光、室内光和避光条件下保存2,4,6,8,10 h,在最佳波长处测定其吸光度。

2 结果与分析

2.1 银杏叶色素最佳吸收波长的确定

如图1所示,银杏叶色素特征吸收峰为435~450 nm,本试验确定银杏叶色素的最佳吸收波长为445 nm。

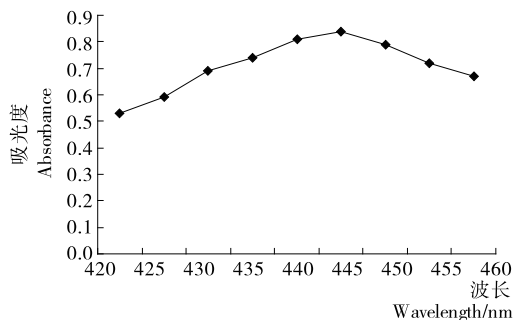


图1 银杏叶色素的吸收波长

Figure 1 Absorption wavelength of *G. biloba* leaves pigment

2.2 单因素试验结果

2.2.1 乙醇浓度的确定 由图2可知,随乙醇浓度的增加,银杏叶色素的吸光度值呈上升趋势,在乙醇浓度为95%时达到最高。可能是由于该色素易溶于乙醇,在浸提液中的溶解率随着乙醇浓度的增加而逐渐升高。然而,当采用无水乙醇浸提,即乙醇浓度达到100%时,色素提取液的吸光值略有降低。可见,用有一定含水量的乙醇来提取银杏叶色素效果更

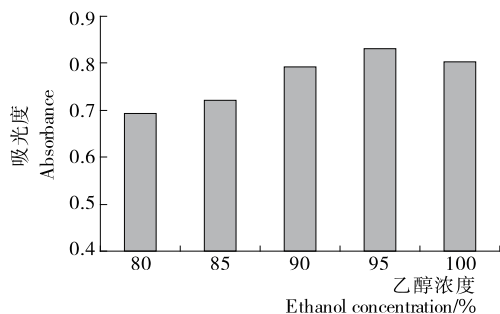


图2 不同乙醇浓度下色素的吸光度值

Figure 2 The absorbance values of pigment under different ethanol concentrations

好,但水分过多会导致溶解度下降。因此,初步确定乙醇浓度为 95%。

2.2.2 料液比的确定 由图 3 可知,随着溶剂的增加,银杏叶色素的吸光度值先上升后下降。料液比为 1:20(g/mL)时,吸光度值最高,表明银杏叶色素在料液比 1:20(g/mL)的条件下已基本溶出。料液比太大,银杏叶粉末与浸提液接触不充分,不利于色素全部溶出;料液比太小,则浸提液过多,虽然色素的溶出更加充分,但不利于后期浓缩^[9],并且还会引起其它物质溶出,使银杏叶色素有效浓度降低,导致吸光度下降^[10]。因此,料液比以 1:20(g/mL)为宜。

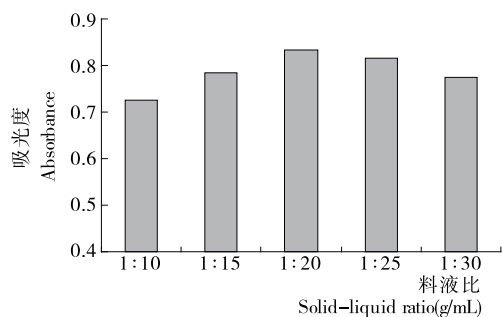


图 3 不同料液比下色素的吸光度值

Figure 3 The absorbance values of pigment under different solid-to-liquid ratios

2.2.3 pH 值的确定 由图 4 可知,随着 pH 值的增加,银杏叶色素的吸光度值先上升后下降,在 pH 值为 6 时,吸光度值最高。说明银杏叶色素在弱酸偏中性条件下溶解度达到最大,pH 值为 4 和 8 时,吸光度值下降,可能是在偏酸或偏碱条件下,色素的发色基团不稳定,会发生某些化学反应引起吸光度值下降^[9]。因此,pH 值为 6 时提取效果最好。

2.2.4 提取温度的确定 由图 5 可知,随着温度的升高,银杏叶色素的吸光度值逐渐上升,当浸提温度达到 60 °C 时,浸提效果最好,之后当浸提温度高于 60 °C 时,吸光度值逐渐下降。说明在较低的温度下,随着温度升高,分子运动加剧,细胞膜的通透性和溶剂的渗透能力逐渐增强^[11-13],利于银杏叶色素的溶出。但如果温度高于 60 °C,银杏叶色素对热不稳定,温度升高易使色素分解,导致提取效果降低^[14]。因此,最佳浸提温度为 60 °C。

2.2.5 提取时间的确定 由图 6 可知,随着浸提时间的延长,银杏叶色素的吸光度值迅速上升,在 1.5 h 时达到最高

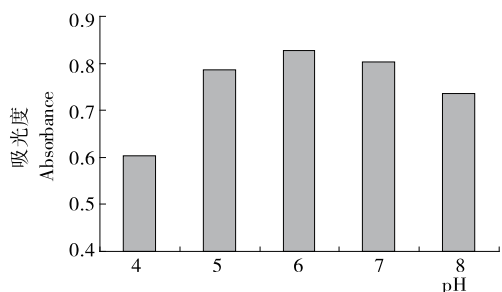


图 4 不同 pH 值下色素的吸光度值

Figure 4 The absorbance values of pigment under different pH conditions

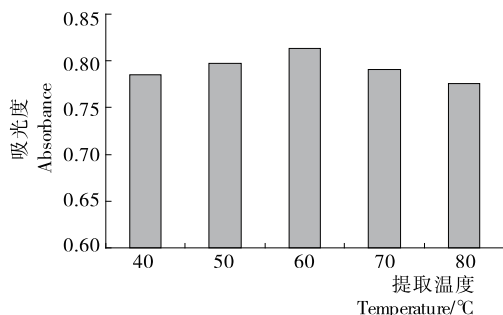


图 5 不同提取温度下色素的吸光度值

Figure 5 The absorbance values of pigment under different extraction temperatures

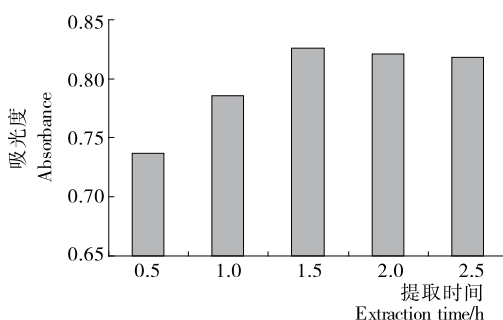


图 6 不同提取时间下色素的吸光度值

Figure 6 The absorbance values of pigment under different extraction time

值,之后如继续提取,吸光度略有下降,但浸提效果变化不明显。可能是在 1.5 h 时色素已完全溶出,如果继续延长提取时间,则会导致溶出色素发生分解或其它醇溶性物质溶出,使银杏叶色素的有效浓度下降,影响吸光度值的准确性^[15-16]。因此,最佳浸提时间为 1.5 h。

2.3 银杏叶色素提取条件的优化

基于单因素试验结果,选取乙醇浓度、pH 值、提取温度和提取时间为正交试验因素,以银杏叶色素吸光度为指标,按照表 1 的因素水平进行正交优化试验。

由表 2 可知,影响银杏叶色素吸光度的主次因素依次为乙醇浓度>pH 值>提取温度>提取时间,乙醇浓度对提取率的影响相对较大。超声辅助乙醇提取银杏叶色素的最佳组合为 A₂B₂C₂D₂,即乙醇浓度 95%,pH 值 6.0,提取温度 60 °C,提取时间 2.0 h。在最佳组合条件下设置 3 次平行实验进行验证,最终得到银杏叶色素的吸光度值为 0.831。

2.4 稳定性试验结果

2.4.1 酸碱对银杏叶色素稳定性的影响 由表 3 可知,银杏

表 1 银杏叶色素提取的正交试验因素与水平

Table 1 The orthogonal test variables and levels of pigment extraction from the leaves of *Ginkgo biloba*

水平	A 乙醇浓度/%	B pH 值	C 提取温度/°C	D 提取时间/h
1	90	5.0	50	1.5
2	95	6.0	60	2.0
3	100	7.0	70	2.5

表2 银杏叶色素提取的正交试验结果

Table 2 The orthogonal experiment results of pigment extraction from the leaves of *Ginkgo biloba*

序号	A	B	C	D	吸光度
1	1	1	1	1	0.783
2	1	2	2	2	0.819
3	1	3	3	3	0.806
4	2	1	2	3	0.821
5	2	2	3	1	0.828
6	2	3	1	2	0.815
7	3	1	3	2	0.796
8	3	2	1	3	0.801
9	3	3	2	1	0.804
k_1	0.803	0.800	0.800	0.805	
k_2	0.821	0.816	0.815	0.810	
k_3	0.800	0.808	0.810	0.809	
R	0.021	0.016	0.015	0.005	

表3 不同pH值条件下银杏叶色素的吸光度值

Table 3 The absorbance values of pigment under different pH conditions

pH值	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12
$A_{445\text{ nm}}$	0.574	0.642	0.705	0.816	0.824	0.831	0.826	0.871	0.927	0.983

表4 不同温度条件下银杏叶色素的吸光度值

Table 4 The absorbance values of pigment under different temperatures

温度/℃	20	30	40	50	60	70	80	90
$A_{445\text{ nm}}$	0.778	0.783	0.787	0.793	0.824	0.775	0.738	0.685

表5 不同金属离子条件下色素的吸光度值

Table 5 The absorbance values of pigment under different metal ions

金属离子	Na^+	Mg^{2+}	Cu^{2+}	Fe^{3+}	Ca^{2+}
吸光度	0.481	0.731	0.772	0.818	0.508

值增大最明显。说明银杏叶色素或某些色素基团可能与 Mg^{2+} 、 Cu^{2+} 和 Fe^{3+} 发生了络合反应,导致吸光度值增加^[19]。因此,在银杏叶色素加工贮存和应用过程中应尽量避免与 Mg^{2+} 、 Cu^{2+} 和 Fe^{3+} 接触,这与金属离子对乌饭叶、紫色甘薯茎叶和山竹壳色素的稳定性研究是一致的^[20-22]。

2.4.4 光照对银杏叶色素稳定性的影响 由图7可知,避光保存的银杏叶色素吸光度值明显高于日光照射和室内自然光条件的吸光度值。日光照射对银杏叶色素的影响较大,随着放置时间的延长色素的吸光度值逐渐下降。室内自然光照射对银杏叶色素的影响没有日光照射明显,吸光度值随着照射时间的延长呈现缓慢下降。避光保存时,银杏叶色素的稳定性非常好,保存时间在0~10 h时其吸光度值没有明显变化。因此,贮存并运输银杏叶色素时应尽可能避光或者添加一定的色素稳定剂^[18]。

叶色素在pH 5~8时比较稳定,在pH 2~4和pH 10~12时,色素溶液吸光度明显上升。由此推断,在弱酸和弱碱性条件下银杏叶色素的稳定性较好,可作为偏中性饮料等食品的着色剂^[17]。在偏酸及偏碱条件下不稳定,其原因是酸性或碱性条件改变了色素中发色基团的结构,导致吸光值的明显变化^[9]。因此在银杏叶色素的开发使用过程中,要注意酸碱性的影响。

2.4.2 温度对银杏叶色素稳定性的影响 由表4可知,银杏叶色素具有一定的耐热性,在温度为20~70℃时,吸光度变化不大,80~90℃时,吸光度明显下降。可能是银杏叶色素对热不稳定,在80~90℃时易发生氧化反应,导致共价键断裂引起色素分解,最终引起吸光度下降^[18]。因此在制备和储存银杏叶色素时应尽量避免长时间处于70℃以上的高温。

2.4.3 金属离子对银杏叶色素稳定性的影响 由表5可知, Na^+ 和 Ca^{2+} 对银杏叶色素基本无影响, Mg^{2+} 和 Cu^{2+} 溶液使银杏叶色素吸光度值明显增大, Fe^{3+} 使银杏叶色素吸光度

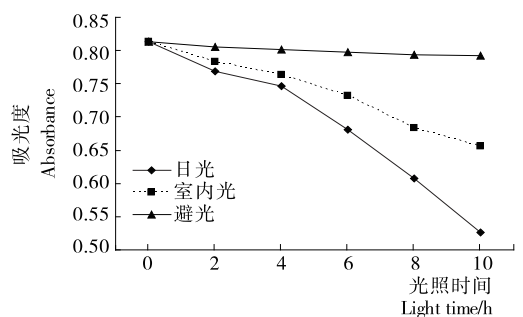


图7 不同光照条件下银杏叶色素的吸光度值

Figure 7 The absorbance values of pigment under different lights

3 结论

本试验采用超声辅助乙醇浸提法提取银杏叶色素,通过单因素试验和正交试验对影响银杏叶色素提取效果的因素进行了研究。结果表明,银杏叶色素最佳提取工艺条件为:乙醇浓度95%、pH值6.0、提取温度60℃、提取时间2 h,此条件下银杏叶色素的吸光度为0.831。超声辅助醇提法简单易行,乙醇作为提取溶剂安全环保。

银杏叶色素在弱酸和弱碱性条件下稳定性较好,在偏酸及偏碱条件下不稳定;对金属离子 Na^+ 、 Ca^{2+} 比较稳定,对

Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Mg^{2+} 不稳定,在银杏叶色素生产和应用过程中应尽量避免与 Mg^{2+} 、 Cu^{2+} 和 Fe^{3+} 接触;70 °C 以上温度会促进银杏叶色素分解,在制备和贮存银杏叶色素时应尽量避免长时间处于 70 °C 以上的高温;银杏叶色素对日光和室内光均不稳定,宜避光保存。银杏叶色素可以作为一种良好的天然食用色素进行开发利用。

参考文献

- [1] STROMGAARD K, NAKANISHIK. Chemistry and biology of terpene trilactones from *Ginkgo biloba* [J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2004, 43(13): 1 640-1 658.
- [2] LIN Xiao-han, ZHANG Jin, LI Ying, et al. Functional genomics of a living fossil tree, *Ginkgo*, based on next-generation sequencing technology [J]. *Physiologia Plantarum*, 2011, 143 (3): 207-218.
- [3] 池静端,徐礼,马辰.银杏叶的化学成分研究[J].*中国中药杂志*, 1997, 22(2): 105-107.
- [4] 杨静峰,张旭,梁忠岩.银杏叶水溶性多糖的分离、纯化、初步鉴定及活性研究[J].*特产研究*, 2006, 28(4): 51-53.
- [5] BEEK T A V, SCHEEREN H A, MELGERW C, et al. Determination of ginkgolides and bilobalide in *Ginkgo biloba* leaves and phytopharmaceuticals [J]. *Journal of Chromatography A*, 1991, 543: 375-387.
- [6] 刘咏,陈莉.银杏叶中绿色素的组成及稳定性研究[J].*食品科技*, 2007, 33(6): 174-176.
- [7] 文亦夫,向小奇,刘旋,等.银杏叶黄色素提取及稳定性研究[J].*食品科学*, 2010, 31(8): 43-45.
- [8] 赵磊,张玲珑,裴付宇,等.银杏叶黄色素对大麻/桑皮/羊毛混纺纱的染色性能[J].*毛纺科技*, 2015, 43(3): 33-36.
- [9] 许海棠,廖艳娟,欧小辉,等.密蒙花黄色素的提取及其稳定性研究[J].*食品与发酵工业*, 2015, 41(6): 218-222.
- [10] 崔荣健,岳鹏.辣椒红素超声波辅助提取工艺的研究与优化[J].*食品研究与开发*, 2010, 31(12): 48-50.
- [11] 王芳,张庆庆,乔璐,等.响应面法优化乌饭叶色素提取工艺[J].*山西农业科学*, 2014, 42(8): 917-920.
- [12] 黄昕蕾,李晓东,孙国峰,等.萱草花色素的超声波辅助提取及其稳定性研究[J].*山西农业科学*, 2013, 41(5): 440-445.
- [13] 罗璇,何景.超声辅助提取花生红衣色素工艺的优化[J].*食品与机械*, 2016, 32(9): 172-176.
- [14] 张瑞,邢军,毛居代·阿尔买买提,等.红苋菜天然红色素的提取及其稳定性[J].*食品与发酵工业*, 2013, 39(1): 208-214.
- [15] 杨萍,牛春艳.响应面法优化紫色甘薯茎、叶色素提取工艺[J].*食品科学*, 2010, 31(12): 148-152.
- [16] 杨钰钦,吴赞敏,任崇玲,等.辣椒红色素的提取、乳化及对牛奶蛋白复合纤维的染色[J].*毛纺科技*, 2010, 38(6): 24-29.
- [17] 张娜,魏龙,蒋彩飞,等.莴笋叶色素稳定性研究[J].*中国食品添加剂*, 2016(12): 94-98.
- [18] PATRAS A, BRUNTON N P, O'DONNELL C, et al. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods, mechanisms and kinetics of degradation [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2010, 21(1): 3-11.
- [19] 崔福顺,金清,李铨军,等.兴安杜鹃花色素提取及理化性质研究[J].*食品与机械*, 2011, 27(4): 61-64.
- [20] 王芳,张庆庆,赵森妙,等.乌饭叶色素的稳定性研究[J].*湖南农业科学*, 2014(15): 56-59.
- [21] 杨萍.紫色甘薯茎叶色素理化性质研究[J].*东北农业大学学报*, 2010, 41(7): 113-117.
- [22] 章斌,侯小桢,郭丽莎.山竹壳色素稳定性研究[J].*食品与机械*, 2011, 27(3): 35-37.
- [21] 吴中华,李文丽,赵丽娟,等.枸杞分段式变温热风干燥特性及干燥品质[J].*农业工程学报*, 2015, 31(11): 287-293.
- [22] 陈健凯,林河通,林艺芬,等.基于品质和能耗的杏鲍菇微波真空干燥工艺参数优化[J].*农业工程学报*, 2014, 30(3): 277-284.
- [23] 李晖,任广跃,段续,等.热泵干燥怀山药片的工艺研究[J].*干燥技术与设备*, 2013(6): 36-41.
- [24] 张涛,赵士杰,冉雪.生姜热风干燥试验研究[J].*农机化研究*, 2014(4): 160-162.
- [19] 王艳,胡一鸿,陈秋志.玉竹糖蛋白分离纯化及其体外抗氧化能力[J].*食品科学*, 2015, 36(2): 52-56.
- [20] 程旺开,汤强,许月明,等.超声波辅助乙醇提取黄秋葵果渣多酚的工艺优化[J].*食品与机械*, 2016, 32(4): 192-196.
- [21] 马永强,荆丽荣,刘晓飞.双水相超声波法辅助提取甜玉米芯多酚及抑菌性研究[J].*食品科学*, 2013, 34(24): 61-64.
- [22] 陶阿丽,余大群.响应面曲线法优化超声辅助茶多酚提取工艺研究[J].*长江大学学报:自然科学版*, 2014, 11(23): 60-64.
- [23] ROSTAMI H, GHARIBZAHEDI S M T. Microwave-assisted extraction of jujube polysaccharide: Optimization, purification and functional characterization [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 143: 100-101.

(上接第 151 页)

- [17] 孙仕玲.山药多糖含量的测定方法研究[J].*农业与技术*, 2007, 30(3): 35-39.
- [18] KAYA A, AYDIN O, DEMIRTAS C. Drying kinetics of red delicious apple [J]. *Biosystems Engineering*, 2007, 96(4): 517-524.
- [19] 巨浩羽,肖红伟,郑霞,等.干燥介质相对湿度对胡萝卜片热风干燥特性的影响[J].*农业工程学报*, 2015, 31(16): 296-304.
- [20] 马先英,赵世明,林艾光.不同干燥方法对胡萝卜复水性及品质的影响[J].*大连海洋大学学报*, 2006, 21(2): 158-161.

(上接第 166 页)

- [14] 陈钢,李栋林,史建鑫,等.响应面法优化超声耦合双水相体系提取茶多酚工艺[J].*食品科学*, 2016, 37(6): 95-100.
- [15] LI Da-gang, YUAN Fu-fang, CHEN Ru-pan, et al. The extraction of polyphenols from tea leaves based on mechanochemical methodology and aqueous two-phase system [J]. *Advanced Materials Research*, 2013, 834-836: 508-514.
- [16] 欧阳玉祝,张辞海,薛慧.超声协同双水相体系提取路边青总多酚工艺[J].*食品科学*, 2011, 32(16): 89-92.
- [17] 马艺丹,刘红,廖小伟.神秘果种子多酚超声双水相复合提取工艺及其抗氧化活性[J].*食品与机械*, 2015, 31(6): 173-178.
- [18] 张艳霞,朱彩平,邓红.超声辅助双水相提取石榴皮多酚[J].*食品与发酵工业*, 2016, 42 (12): 150-156.