

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.04.030

杜仲雄花茶加工中护绿工艺响应面优化*

付卓锐¹ 董娟娥² 马希汉³

(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学生命科学学院, 陕西杨凌 712100;
3. 西北农林科技大学理学院, 陕西杨凌 712100)

【摘要】 针对杜仲雄花茶在加工过程中易变色的问题,通过利用盐离子、柠檬酸、抗坏血酸和杀青等处理抑制杜仲雄花的褐变以实现护绿的效果。在单因素试验基础上,利用 SAS 数据统计软件对影响杜仲雄花茶汤色的因素进行了评价,筛选出具有显著护绿效应的 3 个因素,即 Zn^{2+} 、柠檬酸和蒸汽法杀青。利用 Design-Expert 数据分析软件中响应面分析法的中心组合设计建立了杜仲雄花茶加工过程中护绿工艺的数学模型,并确定了杜仲雄花茶加工过程中适宜的护绿工艺为:先用料液比为 10 g/mL、质量分数 0.04% 的 Zn^{2+} 水溶液和 0.4% 的柠檬酸水溶液喷洒杜仲雄花蕾,然后在蒸汽中蒸 40 s,经过处理后的材料制成杜仲雄花茶,可避免加工过程中变色和品质变差。

关键词: 杜仲 雄花茶 护绿 响应面 工艺

中图分类号: TS201.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)04-0145-06

Green-protecting Process Optimization in Processing of Eucommia Male Flower Tea by Response Surface Analysis Method

Fu Zhuorui¹ Dong Juane² Ma Xihan³

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China
2. College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China
3. College of Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract

Aimed at the discoloration problems in processing of eucommia male flower tea, color protection treatments such as salt ions, citric acid, ascorbic acid, and deactivation of enzymes were used to inhibit the browning. The influencing factors on the liquor color of the male flower tea were evaluated based on the single factor experiment by using SAS software. The concentrations of Zn^{2+} and citric acid for flower preparation and the duration for flower steaming were selected as the main effect factors. The mathematical model of green-protecting techniques in processing of male flower tea was established with the central-composite model of response surface methodology in Design-Expert software. The optimal technique of green-protecting during the male flower tea processing were: to spray 0.04% Zn^{2+} and 0.4% citric acid aqueous solution on the male flowers with the solid-liquid ratio of 10 g/mL, and then steam the male flower for about 40 second. With the above treatment, the browning and quality decreasing of the male flower tea can be avoided.

Key words Eucommia ulmoides, Male flower tea, Green keeping, Response surface, Process

引言

杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliv.)是雌雄异株植

物,雄花产量很高,据估计我国每年有 3 万 t 的产花量。研究证明,杜仲雄花中的黄酮类化合物含量高于杜仲皮和叶,同时富含与杜仲叶、皮相类似的活性

收稿日期: 2009-05-19 修回日期: 2009-09-14

*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD18B03)和西北农林科技大学青年骨干支持计划项目

作者简介: 付卓锐,硕士生,主要从事植物资源化学研究,E-mail: fuzhuorui@163.com

通讯作者: 董娟娥,副教授,博士,主要从事药用植物次生代谢和天然产物提取分离研究,E-mail: dzsys@nwsuaf.edu.cn

成分如绿原酸、桃叶珊瑚甙、京尼平苷甙酸等物质^[1-2],而且杜仲雄花中富含矿质元素、粗蛋白、多种维生素和氨基酸,还含有人体所需8种必需氨基酸(占氨基酸总量的40.4%),有较高的营养价值及医疗保健作用^[3]。以杜仲雄花的雄蕊为原料生产的杜仲雄花茶中含有许多环烯醚萜类成分^[4],这些成分在受到外界条件影响时会迅速水解、聚合、破坏、颜色变深^[5],导致采收后杜仲雄花极易变色、营养成分损失、品质变差,这已经成为杜仲雄花开发利用的瓶颈。针对这一问题,本文对杜仲雄花茶加工过程中的护绿工艺进行研究。分别对杜仲雄花进行抗坏血酸、盐离子、柠檬酸和蒸汽、热烫杀青等处理,利用SAS软件对多个影响因素进行多重比较分析,并利用Design-Expert中响应曲面法的中心组合设计建立杜仲雄花茶加工过程中护绿工艺的回归模型,以解决杜仲雄花茶加工过程中的褐变问题,优化其加工过程,为工业化生产提供指导。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料

杜仲雄花于2009年3月中下旬(初花期)采自西北农林科技大学林学院校区杜仲优树林。雄株花蕾形成后及时采收,采收时应避免花粉散落而影响杜仲雄花茶的质量。将采集的杜仲雄花蕾仔细挑选,去除杂质,装入干净的棉质纱布网中,用小流速水流淋洗1 min左右,去除灰尘后,摊晾,风干至含水率60%左右。

1.1.2 主要试剂

抗坏血酸、柠檬酸、硫酸铜、氯化镁、硫酸锌、氯化钙、氯化钠等均为分析纯。

1.1.3 主要仪器

AG204型分析天平(METTLER TOLEDO),JYC-21CS11型电磁灶,TU-1810型紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司),干燥器。

1.2 试验方法

1.2.1 护绿工艺单因素试验

(1) 柠檬酸

有机酸能够降低介质的pH值和螯合酶分子中的铜离子而降低酶的活性,抑制褐变^[6]。其中柠檬酸是最常用的有机酸类褐变抑制剂。分别配制质量分数为0.1%、0.3%、0.5%的柠檬酸水溶液,按照料液比为10 g/mL的比例均匀喷洒于待测的杜仲雄花上。

(2) 抗坏血酸(维生素C)

分别配制质量分数为0.02%、0.05%、0.10%

的抗坏血酸水溶液^[7-8],按照料液比为10 g/mL的比例均匀喷洒于待测的杜仲雄花上。

(3) 盐离子

分别配制不同种类不同质量分数梯度的盐离子水溶液,按照料液比为10 g/mL的比例均匀喷洒于待测的杜仲雄花上。盐离子包括 Cu^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ca^{2+} 和 Na^+ ,配制质量分数如表1所示^[9-10]。

表1 不同种类盐离子的质量分数

处理水平	Cu^{2+}	Mg^{2+}	Zn^{2+}	Ca^{2+}	Na^+
1	0.01	0.01	0.01	0.01	1.0
2	0.03	0.03	0.03	0.03	3.0
3	0.05	0.05	0.05	0.05	5.0

(4) 蒸汽及热烫处理

取30 g左右处理好的杜仲雄花,以蒸汽法^[11]或热烫法^[12](沸水)进行护色处理,处理时间分别为5、30、60 s。

各种处理后的样品迅速风干,在90℃下炒制10 min进行杀青,完成后分别装袋,置干燥器中至恒量,测量汤色。每处理3个重复。

1.2.2 汤色测定

以阴干后直接在90℃下炒制10 min的产品作为对照(CK)。准确称取1 g对照样品置烧杯中,加入150 mL沸水冲泡30 min,得到浸泡液。将浸泡液在波长500~780 nm范围内每隔1 nm进行全波长扫描,发现其在波长586 nm处有最大吸收峰。

分别称取不同处理的样品1 g,按照对照样品的处理方法得到浸泡液,在波长586 nm处测量吸光度 A_{586} ,比较各处理的护色效果,以 A_{586} 值小者为佳^[12-13]。

1.2.3 护绿工艺中心组合设计及优化

根据单因素试验和多重比较分析,选择效果较好的处理为试验因素,并找出零水平,在此基础上采用中心组合设计优化杜仲雄花茶的护绿工艺条件,进行组合试验。以试验因素的不同水平为自变量,以不同处理的汤色吸光度为响应值,进行试验分析。

1.3 数据统计分析

采用SAS 8.0数据分析软件对单因素试验中的各因素进行多重比较分析。采用Design-Expert 7.0数据处理系统的响应面中心组合设计,对护绿工艺试验结果进行参数优化。

2 结果与分析

2.1 单因素多重比较分析

根据单因素试验结果,取各因素的最佳处理水

平进行多重比较分析。因素水平和多重比较分析结果如表2所示。

表2 不同因素对杜仲雄花护绿效果的多重比较

Tab.2 Multiple comparison of the absorption value of the solution under different factors

各因素的最佳水平	吸光度平均值	5%显著水平	1%极显著水平
Na ⁺ 质量分数 3%	0.195 0 ± 0.003 9	a	A
Cu ²⁺ 质量分数 0.01%	0.177 1 ± 0.017 2	ab	A
Ca ²⁺ 质量分数 0.01%	0.153 4 ± 0.045 5	abc	AB
维生素 C 质量分数 0.02%	0.125 2 ± 0.031 9	bcd	ABC
Mg ²⁺ 质量分数 0.05%	0.117 2 ± 0.045 1	cd	ABC
CK	0.094 5 ± 0.002 7	d	BC
Zn ²⁺ 质量分数 0.03%	0.085 0 ± 0.004 2	ef	BC
柠檬酸质量分数 0.3%	0.070 4 ± 0.010 5	ef	C
蒸汽处理 30 s	0.058 2 ± 0.031 9	ef	C
热烫处理 60 s	0.029 9 ± 0.024 5	f	D

由多重比较分析结果可知,试验不同因素之间有显著差异($P < 0.000 1$)。新复极差(SSR)分析表明,Zn²⁺、柠檬酸、蒸汽处理的吸光度显著低于对照样品,热烫处理的吸光度极显著低于对照样品。但对处理后各样品中生物活性成分含量进行检测发现,热烫法杀青处理后的样品中绿原酸、京尼平甙酸、桃叶珊瑚甙和杜仲黄酮的含量降低非常明显,功能成分损失较大。因此,热烫法杀青处理虽对样品护绿效果很好,但不适宜于功能性茶的制备,故剔除该处理因素,而选择 Zn²⁺ 处理、柠檬酸处理和蒸汽杀青处理进行中心组合试验。

2.2 单因素试验分析

2.2.1 Zn²⁺ 质量分数

由多重比较结果可知,Zn²⁺ 处理对杜仲雄花的护绿效果较好。利用质量分数为 0.01% ~ 0.08% 的 Zn²⁺ 水溶液对杜仲雄花样品进行处理后,再进行促褐变处理,测量汤色的吸光度,结果如图 1 所示。

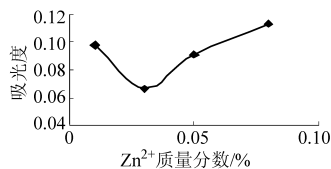


图1 不同质量分数的 Zn²⁺ 对吸光度的影响

Fig.1 Effect of Zn²⁺ on absorption value

用 0.01% ~ 0.03% 的 Zn²⁺ 处理杜仲雄花时,随着处理质量分数的增加,处理样品汤色的吸光度显著降低($P = 0.000 3 < 0.01$);用 0.03% ~ 0.08% 的 Zn²⁺ 处理时,随着处理质量分数的增加,样品汤色的吸光度显著升高($P = 0.001 3 < 0.01$);Zn²⁺ 质

量分数为 0.03% 时,处理样品褐变最小,汤色的吸光度 A_{586} 最低。可见,质量分数为 0.03% 的 Zn²⁺ 护绿效果较好。

2.2.2 柠檬酸质量分数

由多重比较结果可知,柠檬酸处理对杜仲雄花的护绿效果也较好。利用质量分数为 0.1% ~ 0.8% 的柠檬酸水溶液对杜仲雄花样品进行处理后,再进行促褐变处理,测量汤色的吸光度,结果如图 2 所示。

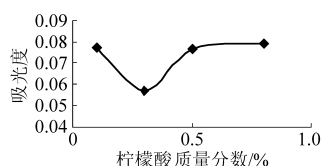


图2 不同质量分数的柠檬酸对吸光度的影响

Fig.2 Effect of Lemon Acid on absorption value

当柠檬酸质量分数在 0.1% ~ 0.3% 时,随着处理质量分数的增加,样品汤色的吸光度显著降低($P = 0.000 5 < 0.01$);当柠檬酸质量分数在 0.5% ~ 0.8% 时,随着柠檬酸质量分数的增加,样品汤色的吸光度显著升高($P = 0.002 3 < 0.01$);当柠檬酸质量分数为 0.3% 时,处理样品褐变最小,汤色的吸光度 A_{586} 最低。可见,质量分数为 0.03% 的柠檬酸护绿效果也较好。

2.2.3 蒸汽处理时间

由多重比较结果可知,蒸汽法杀青处理对杜仲雄花的护绿效果也较好。对杜仲雄花进行 10 ~ 180 s 的蒸汽处理后,再进行促褐变处理,测量汤色的吸光度,结果如图 3 所示。

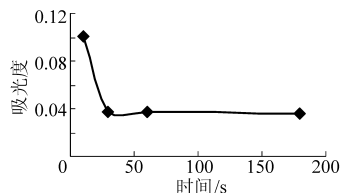


图3 蒸处理时间对吸光度的影响

Fig.3 Effect of steaming duration on absorption value

将杜仲雄花在蒸汽中蒸 10 ~ 30 s 时,随着蒸汽处理时间的延长,样品汤色的吸光度显著降低($P = 0.000 1 < 0.01$);当蒸汽处理时间大于 30 s 时,样品汤色的吸光度无显著变化($P = 0.277 3 > 0.05$);因此认为,将杜仲雄花蒸汽处理 30 s 可以有效防止褐变,起到护绿作用。

2.3 护绿工艺试验分析及回归方程建立

根据单因素试验和多重比较分析,选择效果较好的处理,即 Zn²⁺、蒸汽和柠檬酸为试验因素进行组合试验,在 90℃ 下炒制 10 min 进行促褐变试验。以不同处理的汤色吸光度 Y 为响应值,以 Zn²⁺ 质量

分数、蒸汽处理时间和柠檬酸质量分数为自变量进行试验分析。根据单因素试验结果,采用中心组合设计优化杜仲雄花茶的护绿工艺条件。自变量因素编码及水平如表 3 所示^[14-15],试验方案和结果如表 4 所示。

表 3 中心组合试验设计的三因素水平编码

Tab. 3 Experimental range and levels of the independent variables

水平编码	因素		
	Zn ²⁺ 质量分数	蒸汽处理时间	柠檬酸质量分数 $x_3/\%$
	$x_1/\%$	x_2/s	
-1.681 7	0	0	0
-1	0.01	10	0.1
0	0.03	30	0.3
1	0.05	50	0.5
1.681 7	0.06	64	0.6

对表 4 的试验数据进行回归分析,得二次多元回归模型为

$$Y = 0.11797 - 1.55812X_1 - 2.11602 \times 10^{-3}X_2 - 0.09785X_3 + 2.92450 \times 10^{-3}X_1X_2 - 0.22995X_1X_3 - 4.17450 \times 10^{-4}X_2X_3 + 20.01354X_1^2 + 2.72172 \times 10^{-5}X_2^2 + 0.15370X_3^2 \quad (1)$$

回归方程显著性检验如表 5 所示。由表可知,此模型的决定系数 R^2 为 0.855 5,响应面回归模型达到极显著水平 ($P = 0.0034 < 0.01$),模型失拟不显著 ($P = 0.0695 > 0.05$)。说明该模型拟合程度良好,试验误差小,可以用此模型对杜仲雄花护绿工艺进行分析和预测。

回归方程系数显著性检验如表 6 所示。模型中一次项 Zn^{2+} 质量分数对护绿工艺的影响达到显著水平 ($P = 0.0233 < 0.05$),蒸汽处理时间对护绿工艺的影响达到极显著水平 ($P = 0.0021 < 0.01$),而

表 4 护绿工艺试验设计与结果

Tab. 4 Designs and results of the process for green keeping of the male flower

试验序号	X_1	X_2	X_3	Y
1	-1	-1	-1	0.084 7
2	1	-1	-1	0.065 6
3	-1	1	-1	0.065 6
4	1	1	-1	0.056 8
5	-1	-1	1	0.074 6
6	1	-1	1	0.057 5
7	-1	1	1	0.054 5
8	-1	1	1	0.036 4
9	-1.681 7	0	0	0.055 3
10	1.681 7	0	0	0.037 8
11	0	-1.681 7	0	0.076 4
12	0	1.681 7	0	0.033 0
13	0	0	-1.681 7	0.046 8
14	0	0	1.681 7	0.035 7
15	0	0	0	0.030 5
16	0	0	0	0.024 1
17	0	0	0	0.026 9
18	0	0	0	0.038 1
19	0	0	0	0.034 1
20	0	0	0	0.037 9

表 5 回归方程的显著性检验

Tab. 5 Analysis of variance for the quadratic model

方差来源	自由度	平方和	均方	F 值	P 值	复相关系数 R^2
模型	9	0.005 184	0.000 576	6.58	0.003 4 **	0.855 5
残差	10	0.000 876	0.000 087			
失拟	5	0.000 709	0.000 142	4.24	0.069 5	
误差	5	0.000 167	0.000 033			
总和	19	0.006 060				

注: ** 为 1% 水平的显著性

表 6 护色工艺回归模型系数显著性检验结果 (t 检验)

Tab. 6 Significance test for regression coefficient (t -test)

系数项	系数估计值	自由度	标准误差	F 值	P 值
截距	0.031 54	1	0.003 82		
X_1	-0.006 77	1	0.002 53	7.149 15	0.023 3
X_2	-0.010 41	1	0.002 53	16.896 93	0.002 1
X_3	-0.005 01	1	0.002 53	3.914 91	0.076 0
X_1^2	0.008 01	1	0.002 47	10.544 99	0.008 8
X_2^2	0.010 89	1	0.002 47	19.502 24	0.001 3
X_3^2	0.006 15	1	0.002 47	6.219 63	0.031 8
X_1X_2	0.001 17	1	0.003 31	0.124 99	0.731 0
X_1X_3	-0.000 92	1	0.003 31	0.077 28	0.786 7
X_2X_3	-0.001 67	1	0.003 31	0.254 68	0.624 7

柠檬酸的影响不显著($P = 0.0760 > 0.05$);二次项的 Zn^{2+} 质量分数($P = 0.0088 < 0.01$)和蒸汽处理时间($P = 0.0013 < 0.01$)对护绿工艺影响达到极显著水平,柠檬酸的影响达到显著水平($P = 0.0318 < 0.05$);各交互项差异均不显著。说明在杜仲雄花的护绿工艺中,蒸汽处理时间和 Zn^{2+} 质量分数为主要影响因素,柠檬酸处理为次要影响因素。

2.4 护绿工艺影响因素交互作用分析

根据对二次多元回归模型系数的显著性检验结果,其交互作用如图4所示。从图中可看出,各因素交互作用对响应值的影响基本呈“凹”字形。在 Zn^{2+} 质量分数为 0.03%~0.04%,蒸汽处理时间为 30~40 s,促褐变后汤色吸光度达到最低点(图4a);在 Zn^{2+} 质量分数为 0.03%~0.04%,柠檬酸质量分数为 0.3%~0.4%,促褐变后汤色吸光度达到最低点(图4b);在柠檬酸质量分数为 0.03%~0.04%,蒸汽处理时间为 30~40 s,促褐变后汤色吸光度达

到最低点(图4c)。

2.5 杜仲雄花护绿优化工艺条件的验证

根据各因素真实值与编码转换公式,可以得到各因素的最佳水平值,即通过回归模型预测的杜仲雄花茶护绿的最佳工艺条件为: Zn^{2+} 质量分数 0.04%,蒸汽处理时间 39.91 s,柠檬酸质量分数 0.4%,在此条件下预测的促褐变后汤色吸光度理论值为 0.0263。

采用优化工艺条件进行验证,考虑到实际操作的可行性,将杜仲雄花茶护绿的工艺条件在回归方程得到的理论值基础上修正为: Zn^{2+} 质量分数 0.04%,蒸汽处理时间 40 s,柠檬酸质量分数 0.4%。在该工艺条件下进行 5 次重复试验,得到的促褐变汤色吸光度分别为 0.029、0.030、0.028、0.026、0.027,均值为 0.0279,与预测值差异不显著($P = 0.05756 > 0.05$),说明该模型可以用于试验结果的预测,采用该工艺可以得到护绿效果较好的杜仲雄花茶。

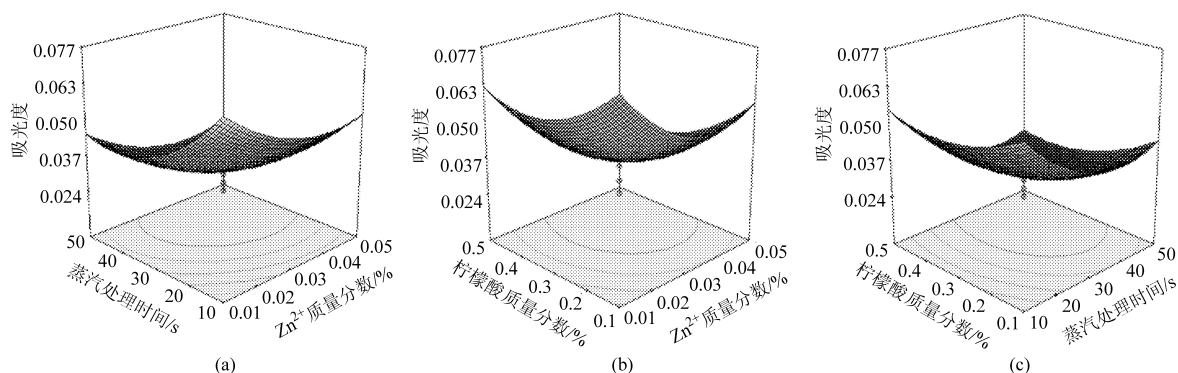


图4 护绿因素交互作用响应曲面

Fig.4 Response surface of the factors of green keeping

(a) 蒸汽处理时间与 Zn^{2+} (b) 柠檬酸与 Zn^{2+} (c) 柠檬酸与蒸汽处理时间

3 结论

(1)利用 Design-Expert 数据分析软件中响应曲面法的中心组合设计建立了杜仲雄花茶加工过程中护绿工艺的数学模型,该模型拟合程度良好,试验误差小,可以用此模型对杜仲雄花护绿工艺进行分析和预测。

(2)确定了杜仲雄花茶加工过程中的护绿工艺为:采集的杜仲雄花蕾经过拣选除杂后,于流水下淋洗 1 min,摊晾至含水率为 60%左右,先用料液比为 10 g/mL 质量分数 0.04%的 Zn^{2+} 水溶液和质量分数 0.4%的柠檬酸水溶液喷洒杜仲雄花蕾,然后在蒸汽中蒸 40 s,经过处理的材料进一步制成杜仲雄花茶,可避免加工过程中褐变和品质变差。

参 考 文 献

- 张康健,赵德义,董娟娥. 风靡全球的杜仲健康新理念[M]. 杨凌:西北农林科技大学出版社,2006:12~30.
- Deyama T, Nishibe S, Nakazawa Y. Constituents and pharmacological effects of *Eucommia* and Siberian ginseng [J]. *Acta pharmacol Sin.*, 2001, 22(12): 1057~1070. (in Chinese)
- Nakazawa Y. Functional and healthy properties of Du-zhong tea and their utilization[J]. *Food Industry*, 1997, 40: 6~15.
- 董娟娥,梁宗锁,张康健. 杜仲雄花中次生代谢物合成积累的动态变化[J]. *植物资源与环境学报*, 2005, 14(4): 7~10.
- Dong Juane, Liang Zongsuo, Zhang Kangjian. Dynamic changes of secondary metabolites in *Eucommia ulmoides* male flower [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2005, 14(4): 7~10. (in Chinese)
- 高锦明. 植物化学[M]. 北京:科学出版社,2003:223~226.

- 6 沈金玉, 黄家音, 李晓莉. 果蔬酶促褐变机理及其抑制方法研究进展[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(6): 150 ~ 155.
Shen Jingyu, Huang Jiayin, Li Xiaoli. Advances in research on mechanism of enzymatic browning and inhibition methods for fruits and vegetables [J]. Food Research and Development, 2005, 26(6): 150 ~ 155. (in Chinese)
- 7 宗迪, 朱彩云. 苹果褐变抑制剂的研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(3): 32 ~ 34.
Zong Di, Zhu Caiyun. Study of apple anti-browning [J]. Food Research and Development, 2006, 27(3): 32 ~ 34. (in Chinese)
- 8 林木材, 李远志. 菠萝蜜护色工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(8): 114 ~ 117.
Lin Mucai, Li Yuanzhi. Research of Jackfruit color-retention technics[J]. Food Research and Development, 2007, 28(8): 114 ~ 117. (in Chinese)
- 9 柯乐芹. 香椿护色工艺研究[J]. 食品科技工艺技术, 2007(7): 107 ~ 109.
Ke Leqin. Study on color maintenance of Toona Sinensis [J]. Food Science and Technology, 2007(7): 107 ~ 109. (in Chinese)
- 10 张孔海, 孙万慧. 果蔬食品的褐变与控制[J]. 农产品加工学刊, 2005, 5(2): 40 ~ 44.
Zhang Konghai, Sun Wanhui. Browning and control of fruit and vegetable [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2005, 5(2): 40 ~ 44. (in Chinese)
- 11 高建民, 张璧光. 三角枫在干燥条件下的诱发变色过程[J]. 干燥技术与设备, 2007, 5(6): 284 ~ 288.
Gao Jianmin, Zhang Biguang. Induced discoloring process of buerger maple under drying conditions [J]. Drying Technology & Equipment, 2007, 5(6): 284 ~ 288. (in Chinese)
- 12 郭香凤, 史国安. 银条加工中烫漂护色工艺的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(9): 222 ~ 225.
Guo Xiangfeng, Shi Guoan. Study on discoloration-preventing of stachys floridana schuttl exbenth [J]. Food Science, 2007, 28(9): 222 ~ 225. (in Chinese)
- 13 乔华, 刘淑玲. 铁(Ⅲ)对葡萄皮色素稳定性的影响及抑制变色的方法[J]. 山西大学学报: 自然科学版, 2005, 28(2): 173 ~ 177.
Qiao Hua, Liu Shuling. Effect of Fe^{3+} on stability of the grape skin pigment and methods of inhabitation its color changing [J]. Journal of Shanxi University: Natural Science Edition, 2005, 28(2): 173 ~ 177. (in Chinese)
- 14 杨冀艳, 胡磊. Plackett-Burman 设计和响应面法优化荷叶总黄酮的提取工艺[J]. 食品科学, 2009, 30(6): 29 ~ 33.
Yang Jiyan, Hu Lei. Optimization of extraction conditions of total flavonoids from lotus leaves by plackett-burman design and response surface analysis [J]. Food Science, 2009, 30(6): 29 ~ 33. (in Chinese)
- 15 Reddy LVA, Wee YJ, Ryu HM, et al. Optimization of alkaline protease production by batch culture of *Bacillus* sp. RKY3 through Plackett-Burman and response surface methodological approaches [J]. Bioresource Technology, 2008, 99(7): 2 242 ~ 2 249.