桑根氧化白藜芦醇的分离、稳态化包埋及其酪氨酸酶活性抑制作用研究

刘果[1]，杜洁[1]，刘飞[2]，徐鸿[3]，陈海[4]，唐健[5]，华洋林[5]，刘光荣[5]，曹庸[1]
(1.华南农业大学食品学院，广东广州 510642) (2.广州绿萃生物科技有限公司，广东广州 510642)
(3.广东泰禾医药科技有限公司，广东广州 510000) (4.广东省茂名市林业局，广东茂名 525000)
(5.无限极(中国)有限公司，广东广州 510665)

摘要：氧化白藜芦醇是一种重要的活性天然产物，是反式二苯乙烯类天然产物白藜芦醇(Resveratrol)的2'-位羟基化衍生物，具有美白、抗癌、保肝、抗氧化、抗衰老、抗炎等作用。本研究在建立了精确检测氧化白藜芦醇高效液相色谱（HPLC）方法基础上，以桑根为原料，研究了氧化白藜芦醇的提取分离、稳态化包埋及对酪氨酸酶活性的抑制作用。结果表明：以80%乙醇为提取溶剂，在提取温度70 ℃，时间1.5 h，液料比4:1，提取次数3次条件下，氧化白藜芦醇提取得率为94.32%；在固形物含量为40%，进风温度为190 ℃，雾化盘转速为16000 r/min，进料速度为1.78 L/h条件下，氧化白藜芦醇微胶囊稳态化包埋率为98.91%；氧化白藜芦醇标准品、氧化白藜芦醇微胶囊样品具有对酪氨酸酶活性抑制作用，且抑制强弱呈剂量依赖型。

关键词：桑根；氧化白藜芦醇；提取分离；稳态化包埋；抑制酪氨酸酶活性
文章篇号：1673-9078(2015)4-217-221 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.4.035

The Separation of Oxyresveratrol from Mulberry Root and Its Effect on Steady-state Embedding and Inhibition of Tyrosinase Activity

LIU Guo[1], DU Jie[1], LIU Fei[2], XU Hong[3], CHEN Hai[4], TANG Jian[5], HUA Yang-lin[5], LIU Guang-rong[5], CAO Yong[1]
(1.College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China) (2.Greencream Biotech Co.,Ltd, Guangzhou 510642, China)(3. TaigeMeditech Ltd. Guangzhou 510000, China) (4.Forestry Administration of Maoming Municipality, Maoming 525000, China) (5.Infinitus (China) Co.,Ltd., Guangzhou 510665, China)

Abstract: Oxyresveratrol is a 2'-hydroxyl derivative of resveratrol (a *trans*-stilbene); it is an important natural bioactive product with whitening, anticancer, antioxidant, hepatoprotective, anti-inflammatory, and anti-aging functions. In this study, high-performance liquid chromatography (HPLC) was used to detect oxyresveratrol in mulberry root, and its extraction, separation, steady-state embedding, and inhibitory effects on tyrosinase activity were examined. The extraction rate of oxyresveratrol was 94.32% for the following conditions: 80% ethanol as the extraction solvent, an extraction temperature of 70 ℃, an extraction duration of 1.5 h, a liquid to solid ratio of 4:1, and independent extraction of three times. The steady-state embedding rate of oxyresveratrol was 98.91% for the following conditions: a solid content of 40%, an inlet temperature of 190 ℃, an atomizing disk speed of 16,000 r/min, and a feed speed of 1.78 L/h. The oxyresveratrol standard and oxyresveratrol microcapsule samples both had inhibitory effects on tyrosinase activity, and the strength of inhibition was dose-dependent.

Key words: mulberry root; oxyresveratrol; extraction and separation; steady-state embedding; inhibitory activity against tyrosinase

桑树是落叶性多年生木本植物，属于桑科(Moraceae)，桑属(*Morus alba L.*)。我国是世界上栽培桑树最早的国家,桑树资源丰富。近年来，桑树学科的研究已突破了传统栽桑养蚕的利用方式,人们充分利用桑树资源的独特功效,研发出了在医药、食品、化工、动物养殖等领域的产品,呈现出桑树多元化利用的格局[7,10]。到目前为止，已在多种植物中发现氧化白藜芦醇的存在，如桑科（Moraceae）中的波罗蜜属（*Artocarpus*）[5]、桑属（*Moraceae*）[8]、橙桑属（*Maclura*），百合科（Liliaceae）的菝葜属（*Smilax*）、藜芦属（*Veraturm*）以及买麻藤科（Gnetaceae）的买麻藤属（*Gnetum*）等[9]。研究表明：作为反式二苯乙烯类天然产物，氧化白藜芦醇同样具有多种有益的生物活性，如具有抑制酪氨酸酶活性和黑色素生成[13]、果

收稿日期：2014-06-24
通讯作者：曹庸教授

蔬防腐抗菌活性、抗单纯疱疹病毒活性、抗水痘带状疱疹病毒活性及抗艾滋病病毒等活性[2]，同时还具有抗炎消肿、抗氧化、抗细胞凋亡及神经保护等作用[4, 9, 11~12]，已成为天然活性物质中的研究热点。氧化白藜芦醇的提取常用乙醇、乙酸乙酯，但分离量较小，得率不高，寻找合适的提取溶剂并建立一套完整的提取工艺势在必行，为后续深入研究打下坚实基础。

目前市面上氧化白藜芦醇产品多为合成产品，天然提取产品很少，合成产品的功效及安全性一直受到广大学者的质疑，同时氧化白藜芦醇的活性相对不稳定。本文经过广泛调研以资源丰富的桑根为原料，研究了氧化白藜芦醇的提取分离、稳态化包埋及对酪氨酸酶活性的抑制作用，以期为氧化白藜芦醇的进一步工业化生产及活性开发应用提供依据[6]。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

氧化白藜芦醇对照品纯度>99%，杭州瑞树生化有限公司；桑根，广东省茂名市，粉碎后过筛；乙醇为分析纯，广州化学试剂厂；甲醇为分析纯，广州化学试剂厂；丙酮为分析纯，广州化学试剂厂；乙酸乙酯为分析纯，广州化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

LC-10A高效液相色谱仪，岛津（中国）有限公司；R204B3型旋转蒸发器，上海申生科技有限公司；SHZ-DL（Ⅲ）循环水式真空泵，巩义市予华仪器有限责任公司；DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器，巩义市予华仪器有限责任公司；AL104型电子分析天平，梅特勒-托利多（Mettler-Toledo）仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 原料处理

将桑根粉碎，并筛分为一定粒径（10~20目）的粉末。

1.3.2 氧化白藜芦醇 HPLC 检测

氧化白藜芦醇标准品经紫外扫描，最大吸收波长为328 nm，与参考文献报道一致[12]，高效液相色谱检测条件：色谱柱为C18柱；流动相为乙腈和0.1%磷酸水溶液(体积比19:81)；检测波长328 nm；柱温，常温；进样体积20 μL；流速1.0 mL/min[1,3]。

1.3.3 原料中氧化白藜芦醇含量的测定

准确称取粒径（10~20 目）桑根粉末5.00 g，置于250 mL锥形瓶中，按一定（50:1）的液料比加入甲醇溶液，密封，常温超声30 min后减压抽滤，重复上述操作，合并滤液，记录滤液体积，取少量滤液过微孔滤膜（0.22 μm）后注入高效液相色谱仪中，采集数据并计算含量。

$$X/\% = \frac{C \times V \times n}{M} \times 100$$

注：X：氧化白藜芦醇含量（%）；C：氧化白藜芦醇浓度（mg/mL）；V：提取液体积（mL）；n：稀释倍数；M：样品重量（g）

1.3.4 桑根中氧化白藜芦醇的提取分离

以提取率为指标，在对提取溶剂，提取温度，时间，液料比，提取次数单因素分析基础上，选取液料比、提取温度、提取时间、提取次数为显著性影响因素，称取 9 份桑根干粉，每份约 5 g，进行 $L_9(3^4)$正交试验，对桑根中氧化白藜芦醇的提取分离进行研究。

1.3.5 氧化白藜芦醇的稳态化包埋

1.3.5.1 包封率测定方法

氧化白藜芦醇总量($W_{总}$)测定：精密称取制备好的氧化白藜芦醇微胶囊 50 mg，用 5 mL 甲醇通过加热、超声破壁使氧化白藜芦醇游离出来，甲醇定容至 10 mL，静置取清液 1 mL 再用甲醇定容至 10 mL，按高效液相色谱法(HPLC)测定检测氧化白藜芦醇总含量。

游离氧化白藜芦醇量($W_{游离}$)测定：精密称取制备好的氧化白藜芦醇微胶囊 100 mg，加入 5 mL 乙酸乙酯，于振荡器上振荡 1 min，使微胶囊表面氧化白藜芦醇充分溶于乙酸乙酯，取乙酸乙酯液 1 mL 氮吹干，用甲醇定容至 10 mL，高效液相色谱法(HPLC)测定方法检测表面氧化白藜芦醇量。按下式计算包埋率：

$$P/\% = \frac{W_{总} - W_{游离}}{W_{总}} \times 100$$

注：P：包埋率（%）；W 表：脱色后氧化白藜芦醇质量，（g）；W 总：脱色后氧化白藜芦醇质量，（g）

1.3.5.2 氧化白藜芦醇微胶囊制备

以包埋率为评价指标，选取固形物含量、喷雾干燥最佳进风温度、最佳雾化盘转速、最佳进料速度四个考察因素，设计 $L_9(3^4)$正交实验获取氧化白藜芦醇得最佳稳态化包埋条件。

1.3.6 氧化白藜芦醇对酪氨酸酶活性的抑制作用研究

1.3.6.1 氧化白藜芦醇抑制酪氨酸酶活性方法

采用多巴速率氧化酶法体外测定氧化白藜芦醇微胶囊对酪氨酸酶活性的作用，以曲酸作为阳性对照，比较氧化白藜芦醇微胶囊与曲酸对酪氨酸酶活性抑制作用较强组分，参考美白化妆品曲酸一般添加量，计算出氧化白藜芦醇微胶囊包埋含量范围及美白化妆品中添加范围。

1.3.6.2 多巴速率氧化酶法测定条件

酪氨酸酶的二酚酶活力的测定则以 0.01 mol/L 的 L-dopa 为底物，酶的最终反应浓度为 100 U/mL，酶溶液、L-dopa 溶液、样品溶液均以 0.2 M 磷酸缓冲液（pH 6.8）溶解配制。按下表准确吸取各组反应液，充分混匀后在 25 ℃水浴温育 30 min，迅速于 475 nm 处测吸光度 A，按式（3）求抑制率。

表 1 酪氨酸酶活性抑制反应液组成

Table 1 Composition of reaction solutions for the inhibition of tyrosinase activity

	A	B	C	D
PBS/μL	40	20	20	
底物/μL	160	160	160	160
样品/μL			20	20
酶/μL		20		20
总体积/μL	200	200	200	200

$$抑制率=\frac{(B-A)-(D-C)}{B-A}\times 100\%$$

2 结果与讨论

2.1 桑根中氧化白藜芦醇的提取分离

表 2 氧化白藜芦醇提取正交试验因素水平

Table 2 Factors and levels of orthogonal experiments for the extraction of oxyresveratrol

水平	A(提取温度/℃)	B(提取时间/h)	C[液料比/(mL/g)]	D(提取次数)
1	40	1	4	1
2	60	1.5	6	2
3	70	2	8	3

表 3 正交试验设计

Table 3 Design of orthogonal experiments

试验号	A(提取温度)	B(提取时间)	C(液料比)	D(提取次数)	提取率/%
1	1	1	1	1	61.41
2	1	2	2	2	81.82
3	1	3	3	3	82.53
4	2	1	2	3	91.00
5	2	2	3	1	87.75
6	2	3	1	2	86.68
7	3	1	3	2	93.32
8	3	2	1	3	94.32
9	3	3	2	1	92.07

结合单因素的试验结果，在单因素的基础上设计了以提取温度、提取时间、液料比、提取次数为因素，做四因素三水平的正交试验（表2），正交试验结果如表3，结果方差分析见表4。

表 4 方差分析结果

Table 4 Results of the analysis of variance

源	III 型平方和	df	均方	F	Sig.	源
校正模型	2430.701	8	303.838	299.440	0.000	0.993
截距	200982.358	1	200982.358	1.981E5	0.000	1.000
A	1473.13	2	736.565	725.905	0.000	0.988
B	181.648	2	90.824	89.509	0.000	0.909
C	384.804	2	192.402	189.617	0.000	0.955
D	391.119	2	195.56	192.729	0.000	0.955
误差	18.264	18	1.015			
总计	203431.323	27				
校正的总计	2448.965	26				

注：a.R^2=0.993（调整 R^2=0.989）。

表 5 验证实验结果

Table 5 Results of the validation experiments

	正交分析最优工艺($A_3B_2C_2D_3$)	8 号试验组($A_3B_2C_1D_3$)
氧化白藜芦醇提取率/%	94.88	94.32

由表 4 可知：Sig.值均<0.01，提取温度、提取次数、液料比、提取时间 4 个因素均有极显著影响，其中 F 值 A>D>C>B，影响氧化白藜芦醇提取率的因素的主次顺序为：提取温度>提取次数>液料比>提取时间，提取桑根中氧化白藜芦醇的最佳工艺参数为：$A_3B_2C_2D_3$，即提取温度 70 ℃，提取时间 1.5 h，液料比 6:1，提取次数是 3 次。

根据正交分析得到最优提取工艺（$A_3B_2C_2D_3$），但最优提取工艺不在正交试验 9 组方案中，通过验证试验（表 5），可知正交分析最优工艺（$A_3B_2C_2D_3$）的提取率为 94.88%，比 8 号实验组提取率（94.32%）高 0.56%，无显著差别，两个方案中提取温度、提取时间、提取次数相同，提取液料比不同，考虑到 8 号试验组（$A_3B_2C_1D_3$）中溶剂用量较少，可以减少后续浓缩的难度，所以，确定 8 号试验组（$A_3B_2C_1D_3$）为最终的最优方案，即提取温度 70 ℃，提取时间 1.5 h，液料比 4:1，提取三次。

2.2 氧化白藜芦醇的稳态化包埋

以包埋率为评价指标，选取固形物含量、喷雾干燥最佳进风温度、最佳雾化盘转速、最佳进料速度四个考察因素，设计 $L_9(3^4)$正交实验来优化各因素组合，获取最佳稳态化包埋参数。实验设计的因素水平编码表见表 6，实验结果和方差分析分别见表 7 和表 8。

表 6 正交试验的因素水平表

Table 6 Factors and levels of orthogonal experiments

实验号	A(固形物含量/%)	B(进风温度/℃)	C[雾化盘转速/(r/min)]	D[进料速度/(L/h)]
1	20	170	12000	1.78
2	30	180	16000	2.22
3	40	190	14000	2.67

表 7 正交试验设计方案与结果

Table 7 Design scheme and results of orthogonal tests s

实验号	A	B	C	D	包埋率/%
1	1	1	1	1	96.26
2	1	2	2	2	97.88
3	1	3	3	3	98.13
4	2	1	2	3	97.80
5	2	2	3	1	95.72
6	2	3	1	2	97.54
7	3	1	3	2	97.84
8	3	2	1	3	97.86
9	3	3	2	1	98.44

表 8 喷雾干燥工艺参数对微胶囊包埋率的方差分析

Table 8 Variance analysis of parameters for the effect of spray-drying on the microcapsule embedding rate

源	III 型平方和	df	均方	F	Sig.
校正模型	12.935[a]	8	1.617	3.562	0.038
截距	171100.800	1	171100.800	376892.457	0.000
固形物含量	3.211	2	1.605	3.536	0.074
进风温度	2.689	2	1.344	2.962	0.103
雾化盘转速	2.657	2	1.329	2.927	0.105
进料速度	4.379	2	2.189	4.822	0.038
误差	4.086	9	.454		
总计	171117.821	18			
校正的总计	17.021	17			

由表 8 数据处理结果可知：Sig.值 D<0.05，进料速度对包埋率有显著影响，A、B、C 均>0.05，固形物含量、进风温度、雾化盘转速对包埋率无显著影响，C>B>A>D, 4 个因素对产品影响程度按由大到小排序为 D>A>B>C。即进料速度对微胶囊产品质量影响最大，固形物含量次之，紧接的是进风温度，雾化盘转速对产品影响效果最小。由此可确认喷雾干燥工艺参数最优方案为：固形物含量为 40%，进风温度为 190 ℃，雾化盘转速为 16000 r/min，进料速度为 1.78 L/h，氧化白藜芦醇微胶囊包埋率为 98.91%。氧化白藜芦醇容易被氧化，微胶囊包埋后改善了氧化白藜芦醇的水溶性，具有防止被氧化的特点，减少在贮藏过程中的损失。

2.3 氧化白藜芦醇对酪氨酸酶活性的抑制作用研究

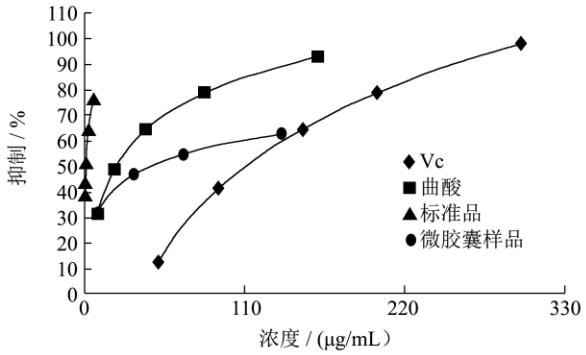


图 1 维生素 C、曲酸、氧化白藜芦醇标准品、氧化白藜芦醇微胶囊样品对酪氨酸酶的抑制作用

Fig.1 Inhibitory effects of vitamin C, kojic acid, oxyresveratrol, and oxyresveratrol microcapsules on tyrosinase activity

从图 1 可以看出，维生素 C 作为阳性对照在一定程度上能够抑制酪氨酸酶活性，并且表现明显的剂量依赖性，维生素 C 浓度为 50 μg/mL 时对酪氨酸酶活性的抑制率为 16.53%，浓度为 300 μg/mL 时对酪氨酸酶活性的抑制率达到 99.72%，基本完全抑制其活性，维生素 C 对酪氨酸酶活性的抑制 IC_{50} 是 110.29 μg/mL。

曲酸作为阳性对照在一定程度上能够抑制酪氨酸酶活性，并且表现明显的剂量依赖性，曲酸浓度为 10 μg/mL 时对酪氨酸酶活性的抑制率为 31.40%，浓度为 160 μg/mL 时对酪氨酸酶活性的抑制率达到 89.93%，基本抑制其活性，曲酸对酪氨酸酶活性的抑制 IC_{50} 是 21.63 μg/mL，根据两者 IC50 的比较可以看出曲酸对酪氨酸酶的抑制作用大大高于维生素 C，通过计算曲酸的抑制作用是维生素 C 抑制作用的 5 倍。

氧化白藜芦醇标准品对酪氨酸酶活性具有明显的抑制作用，并且表现明显的剂量依赖性，氧化白藜芦醇标准品浓度为 0.375 μg/mL 时对酪氨酸酶活性的抑制率为 41.20%，浓度为 6 μg/mL 时对酪氨酸酶活性的抑制率达到 79.59%，氧化白藜芦醇标准品对酪氨酸酶活性的抑制 IC_{50} 是 0.95 μg/mL，根据维生素 C、曲酸、氧化白藜芦醇标准品三者之间 IC50 的比较可以看出氧化白藜芦醇标准品对酪氨酸酶的抑制作用远远高于维生素 C、曲酸，氧化白藜芦醇标准品对酪氨酸酶活性的抑制作用是维生素 C 的 116 倍，是曲酸的 22 倍，可见氧化白藜芦醇在相对较低浓度下对酪氨酸酶具有较强的抑制用。

氧化白藜芦醇微胶囊样品一定程度上能够抑制酪

氨酸酶活性，并且表现明显的剂量依赖性，当氧化白藜芦醇微胶囊样品浓度为 8.5 μg/mL 时对酪氨酸酶活性抑制率达到 30.94%，当氧化白藜芦醇微胶囊样品浓度为 136 μg/mL 时对酪氨酸酶活性抑制率达到 65%，氧化白藜芦醇微胶囊样品对酪氨酸酶活性的抑制 IC_{50} 是 45.02 μg/mL，对比维生素 C、曲酸、氧化白藜芦醇标准品、氧化白藜芦醇微胶囊样品对酪氨酸酶活性抑制作用可知，氧化白藜芦醇微胶囊样品对酪氨酸酶活性抑制作用低于氧化白藜芦醇标准品、曲酸，高于维生素 C。

氧化白藜芦醇微胶囊样品对酪氨酸酶活性的抑制作用低于曲酸、氧化白藜芦醇标准品，原因可能是：氧化白藜芦醇微胶囊样品包埋过程中壁材的添加使氧化白藜芦醇被稀释，氧化白藜芦醇含量降低，导致对酪氨酸酶活性的抑制作用降低。可提高微胶囊中氧化白藜芦醇载样量，从而提高氧化白藜芦醇微胶囊样品中氧化白藜芦醇包埋含量，进而提高对酪氨酸酶活性的抑制作用。该研究为美白原料的筛选研究提供一定的参考，桑根提取物是国际化妆品的通用原料之一，氧化白藜芦醇是桑树根中提取出来的，作为化妆品原料安全无毒，随着对氧化白藜芦醇的不断研究，氧化白藜芦醇在食品工业及化妆品工业上具有很大的应用前景。

3 结论

3.1 以提取率为指标，在单因素实验基础上，通过正交试验分析获得氧化白藜芦醇最佳分离提取条件为：以 80%乙醇为提取溶剂，在提取温度 70 ℃，时间 1.5 h，液料比 4:1，提取次数 3 次条件下，氧化白藜芦醇提取得率为 94.32%

3.2 以微胶囊包埋率为评价指标，在单因素基础上，选取固形物含量、进风温度、雾化盘转速、进料速度四个考察因素，设计 $L_9(3^4)$正交实验来优化各因素组合，获得氧化白藜芦醇最佳稳态化包埋参数为：固形物含量为 40%，进风温度为 190 ℃，雾化盘转速为 16000 r/min，进料速度为 1.78 L/h。在此操作条件下进行验证实验，测得的微胶囊包埋率为 98.91%。

3.3 采用多巴速率氧化酶法测定氧化白藜芦醇对照品、氧化白藜芦醇微胶囊样品对酪氨酸酶活性的抑制作用，实验结果表明：维生素 C、曲酸、氧化白藜芦醇标准品、氧化白藜芦醇微胶囊样品均对酪氨酸酶活性具有抑制作用，且抑制强弱呈剂量依赖型。对酪氨酸酶的抑制能力强弱依次为：氧化白藜芦醇标准品>曲酸>氧化白藜芦醇微胶囊样品>维生素 C，其中氧化白藜芦醇微胶囊样品对酪氨酸酶活性的抑制作用介于维生素 C 和曲酸之间，可能原因是微胶囊包埋过程中壁材的添加使氧化白藜芦醇含量降低，从而导致对酪氨酸酶活性的抑制作用降低，可通过提高氧化白藜芦醇微胶囊样品中氧化白藜芦醇含量提高其对酪氨酸酶活性的抑制作用，表现更好的抑制效果。

参考文献

[1] Bertram R M, Takemoto J K, Remsberg C M, et al. High-performance liquid chromatographic analysis: applications to nutraceutical content and urinary disposition of oxyresveratrol in rats [J]. Biomedical Chromatography, 2010, 24(5): 516-521

[2] Galindo I, Hernaez B, Berna J, et al. Comparative inhibitory activity of the stilbenes resveratrol and oxyresveratrol on african swine fever virus replication [J]. Antiviral Research, 2011, 91(1): 57-63

[3] Huang H, Chen G, Lu Z, et al. Identification of seven metabolites of oxyresveratrol in rat urine and bile using liquid chromatography/tandem mass spectrometry [J]. Biomedical Chromatography, 2010, 24(4): 426-432

[4] Mei M, Ruan J, Wu W, et al. In vitro pharmacokinetic characterization of mulberroside a, the main polyhydroxylatedstilbene in mulberry (*Morus alba L.*), and its bacterial metabolite oxyresveratrol in traditional oral use [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(9): 2299-2308

[5] Povichit N, Phrutivorapongkul A, Suttajit M, et al. Antiglycation and antioxidant activities of oxyresveratrol extracted from the heartwood of artocarpuslakoochaRoxb. [J]. Maejo International Journal of Science And Technology, 2010, 4(3): 454-461

[6] Xu L, Liu J, Liu C, et al. Response surface optimization of ultrasonic-assisted oxyresveratrol extraction from the bark of cultured black mulberry (*MorusNigra L.*) [J]. Separation Science and Technology, 2013, 48(18): 2779-2785

[7] Zhou J, Li S, Wang W, et al. Variations in the levels of mulberroside a, oxyresveratrol, and resveratrol in mulberries in different seasons and during growth [J]. Scientific World Journal, 2013, 380692

[8] 戴胜军,于德泉,吕子明,等.光叶桑中酚类化合物的分离与鉴定[J].中国药物化学杂志,2006,16(2):102-105
DAI Sheng-jun, YU De-quan, LV Zi-ming, et al. Isolation and identification of phenolic compoundsfrom morus macroura miq.[J]. Chinese Journal of Medicinal ChemistryModern, 2006, 16(2): 102-106

[9] 虢小翊,周晋,李顺祥,等.氧化白藜芦醇(苷)的植物资源分布及药用价值的研究进展[J].科技导报,2011,29(30):63-67
GUO Xiao-yi, ZHOU Jin, LI Shun-xiang, et al. Summary of plant resources distribution and research progress inmedicinal value of oxyresveratrol and mulberroside A [J]. Science & Technology Review, 2011, 29(30): 63-67

[10] 罗蔓.桑的药理性质及其开发利用[J].现代农业科技,2010,24: 133-135
LUO man. Research on pharmacological properties and exploitation of mulberry [J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2010, 24: 133-135

[11] 孙洪宜,肖春芬,魏文,等.氧化白藜芦醇的合成[J].有机化学,2010,30(10):1574-1579
SUN Hong-yi, XIAO Chun-fen, WEI Wen, et al. Synthesis of oxyresveratrol [J]. Chinese Journal of Organic Chemistry, 2010, 30(10): 1574-1579

[12] 佟志远,颜新培,李顺祥,等.桑枝中氧化白藜芦醇的分离与鉴定[J].蚕业科学,2011,37(5):948-951
TONG Zhi-yuan, YAN Xin-pei, LI Shun-xiang, et al. Isolation and identification of oxyresveratrol in mulberry branch [J]. Science of Sericulture, 2011, 37(5): 948-951

[13] 张宁宁.桑叶中桑皮苷F对黑素生物合成的抑制作用[J].国外医学(中医中药分册),2003,25(6):354-355
ZHANG Ning-ning. Inhibitory action of mulerroside F from morus albaon biosynthesis of melanin [J]. International Journal of Traditional Chinese Medicine, 2003, 25(6): 354-355

现代食品科技