

# 臭氧与硫熏处理后当归品质变化情况的比较

王学成, 伍振峰, 万娜, 王雅琪, 康超超, 张立国, 杨明\*  
(江西中医药大学 现代中药制剂教育部重点实验室, 南昌 330004)

**[摘要]** **目的:**比较臭氧处理及硫熏处理后当归品质的变化情况,为臭氧处理作为硫熏处理替代技术的可行性分析提供参考。**方法:**采用间歇臭氧处理及硫磺熏蒸的方法分别处理当归药材,通过 RP-HPLC 测定当归中阿魏酸含量,流动相乙腈-0.085% 磷酸水溶液(17:83),检测波长 316 nm;采用水蒸气蒸馏法提取当归挥发油,通过 GC-MS 检测当归挥发油中化学成分;以微生物含量为指标,评价不同处理方式对当归储藏周期的影响。**结果:**臭氧处理及硫熏处理都会影响当归中阿魏酸的含量,较未处理当归样品中的质量分数分别降低了 23.72% 和 34.43%;臭氧处理及硫熏处理当归后会导致挥发油颜色发生变化,且挥发油体积较未处理的样品分别降低了 53.85% 和 76.92%,挥发油化学成分数量和种类均发生了较大的变化,主成分蒿本内酯分别降低了 10.65% 和 9.32%;经储藏周期试验发现,臭氧处理后当归中的微生物含量较硫熏处理后的样品少。**结论:**当归经臭氧处理后化学成分变化程度较硫熏处理小,有望成为当归硫熏处理的替代技术。

**[关键词]** 当归; 臭氧; 硫熏; 挥发油; 阿魏酸; 蒿本内酯; 微生物

**[中图分类号]** R282;R931.6;R284;O657.6 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2018)03-0036-05

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.2018030036

**[网络出版地址]** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20171114.1210.040.html>

**[网络出版时间]** 2017-11-14 12:10

## Comparison of Quality Changes of Angelicae Sinensis Radix Treated by Ozone Gas and Sulfur Fumigation

WANG Xue-cheng, WU Zhen-feng, WAN Na, WANG Ya-qi, KANG Chao-chao,  
ZHANG Li-guo, YANG Ming\*

(Key Laboratory of Modern Preparation of Traditional Chinese Medicine (TCM), Ministry of Education,  
Jiangxi University of TCM, Nanchang 330004, China)

**[Abstract]** **Objective:** To provide theoretical basis for the feasibility of ozone treatment technology as a select alternative technology to sulfur fumigation by comparing the quality of Angelicae Sinensis Radix after ozone treatment and sulfur fumigation treatment. **Method:** Angelicae Sinensis Radix was treated with intermittent ozone gas and sulfur fumigation process, respectively. The content of ferulic acid in Angelicae Sinensis Radix was determined by RP-HPLC. The volatile oil from Angelicae Sinensis Radix was extracted by steam distillation and its chemical constituents were determined by GC-MS. The microbial content was taken as the index, the effect of different treatments on the storage period of Angelicae Sinensis Radix was evaluated. **Result:** Compared with the untreated Angelicae Sinensis Radix, the content of ferulic acid decreased 23.72% and 34.43% after ozone and sulfur fumigation treatment, respectively. After ozone and sulfur fumigation treatment, the color, content and

**[收稿日期]** 20170718(005)

**[基金项目]** 江西省教育厅科技项目(GJJ160859);江西省卫计委科技项目(2016A044);江西中医药大学重点学科青年教师培养计划项目(2016jzzdxk007);江西民族传统药现代科技与产业发展协同创新中心基金项目(JXXT201403017);江西省杰出青年人才项目(20162BCB23035)

**[第一作者]** 王学成, 硕士, 讲师, 从事中药制剂与工程技术研究, Tel:0791-87119032, E-mail: wangxcd@126.com

**[通信作者]** \* 杨明, 博士, 教授, 从事中药新制剂研究, Tel:0791-87119032, E-mail: yangming16@126.com

compositions of volatile oil from *Angelicae Sinensis Radix* were changed, the amount of volatile oil decreased by 53.85% and 76.92%, the content of ligustilide decreased by 10.65% and 9.32%, respectively. The microbial content in *Angelicae Sinensis Radix* after ozone treatment was less than that of sulfur fumigation treatment. **Conclusion:** The changes in chemical composition of *Angelicae Sinensis Radix* treated with ozone are less than that of sulfur fumigation treatment. It is expected to be an alternative to sulfur fumigation treatment of *Angelicae Sinensis Radix*.

**[Key words]** *Angelicae Sinensis Radix*; ozone; sulfur fumigation; volatile oil; ferulic acid; ligustilide; microbes

当归具有补血和血、调经止痛、润肠通便的作用,是肌肉、关节疼痛,慢性支气管炎,高血压,脑血栓等疾病的临床常用药<sup>[1-2]</sup>。当归采收季节一般是每年的 10~12 月,采收净选后,通常采用直接晒干、阴干、湿柴烟熏干等方式降低当归的含水量,部分采用硫熏后干燥的方法。硫熏作为一种古老的中药材加工方法,可使药材的表观品相得到提升,可在一定程度上提升商品的市场竞争力,且具有防虫、防霉的作用,可延长药材储存周期<sup>[3]</sup>。近年来,研究者逐渐意识到硫熏方式处理药材的严重危害,主要体现在 SO<sub>2</sub> 残留、重金属超标及药材成分的变化,将对人体健康构成威胁<sup>[4-6]</sup>。寻找一种替代硫熏处理中药材的可行技术成为中药材延长保质期及提升品质关键而迫切的问题。

臭氧是一种广谱高效的杀菌剂,由氧气经间隙高压电离激发而形成,广泛应用于空气净化处理<sup>[7]</sup>、食品气调包装<sup>[8]</sup>、器具容器灭菌<sup>[9]</sup>及水资源处理<sup>[10]</sup>等领域。臭氧技术应用于中药材处理的研究不多,宋丽平等<sup>[11]</sup>研究了气悬浮臭氧对中药粉体物料的灭菌效果,结果发现平均灭菌率达 95.17%。卢鹏伟等<sup>[12]</sup>对牡丹皮原生粉末进行臭氧灭菌研究,考察了灭菌后灭菌率和丹皮酚含量损失量,结果表明臭氧技术能在对药材成分影响较小的情况下达到良好的灭菌效果。本课题组在前期研究中对臭氧技术灭菌工艺进行了探索<sup>[13-14]</sup>,结果表明臭氧能够显著降低物料的菌含量,但尚未对臭氧在灭菌过程中可能造成的中药化学成分变化进行研究,因此,本实验选择当归药材为研究对象,比较硫熏处理及臭氧处理对当归中阿魏酸含量、挥发油成分及其储藏周期的影响,为臭氧处理技术作为硫熏处理替代技术的可行性提供理论依据。

## 1 材料

1100 系列高效液相色谱仪(美国安捷伦公司,含 LC-30AD 型二元泵),Triple TOF 5600 型质谱仪(美国 AB Sciex 公司),硫熏台架和挥发油提取器

(自制),LDZM-80KCS 型立式压力蒸汽灭菌器(上海申安医疗器械厂),SZ93 型双蒸水机(上海和杰科技有限公司),GS-YA40 型臭氧发生器(南京国力臭氧应用设备有限公司),BSM-4200.2 型电子天平(上海卓精电子科技有限公司),SW-CT-2FD 型单人单面净化台(苏州净化设备有限公司),SPX-150F 型生化培养箱(上海龙跃仪器设备有限公司)。

当归(江西樟树天齐堂中药饮片有限公司,批号 20150610,经江西中医药大学杨明教授鉴定为伞形科植物当归 *Angelica sinensis* 的干燥根),阿魏酸对照品(重庆高仁生物科技有限公司,批号 160102,纯度 ≥98%);硫磺,营养琼脂培养基(批号 HB0506-4),玫瑰红钠琼脂培养基(批号 HB0208-1)和 pH 7.0 无菌氯化钠蛋白胨缓冲液(批号 HB0501-2)均购自青岛高科园海博生物技术有限公司;水为自制双蒸水,试剂均为分析纯。

## 2 方法与结果

**2.1 臭氧处理** 将当归药材装入聚乙烯(PE)袋中,调节臭氧发生器流量计至 2 L·min<sup>-1</sup>(通过碘量法检测臭氧质量浓度 67.20 mg·L<sup>-1</sup>),将装有药材的 PE 袋抽去空气,通入臭氧,保持 1 h,抽尽余气,再次通入臭氧,保持 1 h,反复 10 次,真空封口保存。臭氧处理后的当归颜色较未处理样品颜色无明显区别,颜色较暗。

**2.2 硫熏处理** 将当归平铺于纱布覆盖的不锈钢制筛网上,按药材-水(1:1)的比例均匀喷洒无菌水,静置 30 min。润湿后的药材分上层、中层、下层放置在熏硫台架上,熏硫台架底部放置装有硫磺(药材质量的 1%)的搪瓷容器,利用塑料薄膜罩将熏硫台架及搪瓷容器密闭,点燃硫磺,将当归进行熏蒸。需保证硫磺燃烧完全,取出药材后于 50 °C 干燥 2 h。将硫熏干燥后的当归装入 PE 袋中,真空封口保存。硫熏处理后的当归药材颜色比较鲜亮且表面湿润。

**2.3 阿魏酸含量测定的 RP-HPLC 分析**<sup>[15]</sup>

**2.3.1 色谱条件与系统适用性试验** 填充剂为十

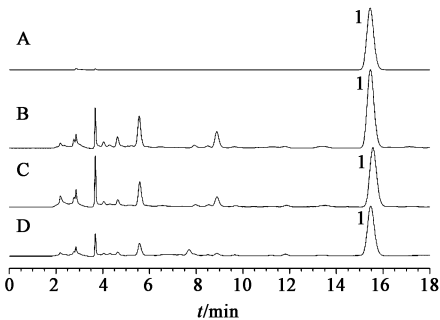
八烷基硅烷键合硅胶,流动相乙腈-0.085% 磷酸水溶液(17:83),检测波长 316 nm,柱温 35 ℃。

**2.3.2 对照品溶液的制备** 取阿魏酸对照品适量,精密称定,置于棕色量瓶中,加 70% 甲醇溶解并定容,得 0.012 g·L<sup>-1</sup>对照品溶液。

**2.3.3 供试品溶液的制备** 称取当归样品粉末(过三号筛)0.2 g,置具塞锥形瓶中,精密加入 70% 甲醇 20 mL,密塞,称定质量,加热回流 0.5 h,放置冷却,称定质量,用 70% 甲醇补足减失的质量,摇匀,静置,取上清液,经微孔滤膜滤过,取续滤液,即得。

**2.3.4 线性关系考察** 精密吸取阿魏酸对照品溶液 2, 4, 6, 8, 10, 20 μL, 按 2.3.1 项下色谱条件测定,以峰面积积分为纵坐标,质量浓度为横坐标,得回归方程  $Y = 2\,237.2X + 0.517\,4$  ( $R^2 = 0.999\,8$ ), 线性范围 0.024 ~ 0.24 μg。

**2.3.5 样品测定** 分别精密吸取阿魏酸对照品溶液与供试品溶液各 20 μL, 按 2.3.1 项下色谱条件测定,见图 1, 根据干燥品计算样品中阿魏酸的质量分数不得低于 0.05%。结果显示未处理、臭氧处理及硫熏处理后的当归样品中阿魏酸质量分数分别为 1.484, 1.132, 0.973 mg·g<sup>-1</sup>。说明以阿魏酸含量为评价指标,臭氧处理当归的方式要优于硫熏处理。



A. 对照品; B. 未处理样品; C. 臭氧处理样品; D. 硫熏处理样品; 1. 阿魏酸

图 1 不同方式处理后当归样品的 RP-HPLC

Fig. 1 RP-HPLC chromatograms of Angelicae Sinensis Radix treated by different methods

**2.4 挥发油的提取** 分别取未处理、臭氧处理、硫熏处理后的当归药材各 150 g, 剪碎, 置于 2 L 烧瓶中, 加入 10 倍量水, 采用水蒸气蒸馏法, 通过带保温结构的改进挥发油提取器提取挥发油<sup>[16]</sup>, 计算挥发油提取率, 见表 1。结果发现不同方式处理当归后挥发油的颜色发生了一些变化, 经臭氧处理后的当归, 其挥发油呈现现金黄色, 经硫熏处理的当归挥发油呈淡黄色。臭氧和硫熏处理对当归挥发油的含量均

有较大的影响, 较未处理样品挥发油提取率分别下降了 53.85% 及 76.92%。

表 1 不同方式处理后当归挥发油的颜色及体积

Table 1 Color and volume of volatile oil in Angelicae Sinensis Radix treated by different methods

当归样品	挥发油颜色	挥发油体积/mL	提取率/mL·g <sup>-1</sup>
未处理	黄色	0.65	0.004 3
臭氧处理	金黄色	0.30	0.002 0
硫熏处理	淡黄色	0.15	0.001 0

**2.5 挥发油的 GC-MS 分析** 检测条件为载气氦气, 柱流量 1 mL·min<sup>-1</sup>, HP-5 毛细管柱(0.25 mm × 30 m, 0.25 μm), 程序升温(初始温度 40 ℃, 维持 3 min; 以 2 ℃·min<sup>-1</sup> 的速率升温升至 150 ℃, 保持 2 min; 以 10 ℃·min<sup>-1</sup> 的速率升温至 280 ℃), 进样量 1 μL, 进样口温度 280 ℃, 分流比 30:1, 溶剂延迟时间 3 min。电离方式为电子电离法(EI), 电离电压 70 eV, 离子源温度 230 ℃, 四级杆温度 150 ℃, 质量扫描模式全扫描, 扫描范围  $m/z$  40 ~ 450, 质谱数据运用 NIST 2002 数据库进行图谱检索。

利用 GC-MS 分析未处理、臭氧处理及硫熏处理后当归挥发油的化学成分, 采用面积归一化法确定各化学成分的相对质量分数, 见表 2。结果从未处理、臭氧处理及硫熏处理当归挥发油中共确定了 18 种化合物, 其中未处理样 11 种, 臭氧处理样 12 种, 硫熏处理样 10 种, 分别占总量的 61.11%, 66.67% 和 55.56%。已确定的 18 种化合物中, 三者共有成分 5 种, 未处理与臭氧处理样共有成分 7 种, 未处理与硫熏处理样共有成分 6 种。只有未处理样中检测到的成分有 3 种, 分别为 3-甲氧基苯乙酮, 4-甲基吡啶啉和 1,4-二氢-6,7-二甲基-2,3-喹啉二酮; 只有在臭氧处理样中检测到的成分有 3 种, 分别为壬醛、乙基苯甲酸对氰基苯酚酯和 2-苯并咪唑基酸乙酯; 只有在硫熏处理样中检测到的成分有 2 种, 分别为 (Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯和 2-甲基苯并噻唑。已有研究证实了当归挥发油中蒿本内酯为主要成分<sup>[17-18]</sup>, 由表 2 可知, 未处理、臭氧处理及硫熏处理后样品中蒿本内酯相对质量分数分别为 79.08%, 70.66% 和 71.71%。

**2.6 储藏货架期考察** 采用加速法。将未处理真空包装样品、臭氧处理真空包装样品、硫熏处理真空包装样品放入 38 ℃ 恒温箱, 使相对湿度维持 > 90%, 保存 5, 10 d。将未处理真空包装样品、臭氧处理真空包装样品、硫熏处理真空包装样品放在仓库

表 2 不同方式处理后当归挥发油的化学成分分析

Table 2 Analysis of chemical constituents in volatile oil of *Angelicae Sinensis Radix* treated by different methods

No.	相对分子质量/Da	化合物	分子式	相对质量分数/%		
				未处理	臭氧处理	硫熏处理
1	136	(E)-B-罗勒烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	5.65	8.41	
2	150	3-甲氧基苯乙酮	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	1.47		
3	162	苯戊酮	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O	1.10	1.09	1.03
4	519	十四甲基环七硅氧烷	C <sub>14</sub> H <sub>56</sub> O <sub>7</sub> Si <sub>7</sub>	0.69		0.95
5	220	2,6-二叔丁基对甲酚	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	1.58	1.50	1.74
6	220	桉油烯醇	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	1.51	1.54	1.17
7	245	4-甲基吡啶	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> N	1.48		
8	188	3-亚丁基-1(3H)-异苯并呋喃酮	C <sub>12</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	5.22	4.84	7.37
9	188	3-亚丁基-1(4H)-异苯并呋喃酮	C <sub>12</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0.86	0.62	
10	190	藜本内酯	C <sub>12</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	79.08	70.66	71.71
11	190	1,4-二氢-6,7-二甲基-2,3-喹啉二酮	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1.37		
12	142	壬醛	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O		4.21	
13	136	别罗勒烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>		2.77	1.58
14	150	对乙烯基愈疮木酚	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>		1.53	1.16
15	251	乙基苯甲酸对氧基苯酚酯	C <sub>16</sub> H <sub>13</sub> NO <sub>2</sub>		1.60	
16	136	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>			7.75
17	133	2-甲基苯并噁唑	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> NO			2.07
18	190	2-苯并呋喃乙酸乙酯	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>		1.22	

中,温度保持在 20 ~ 25 ℃,相对湿度在 50% ~ 80%,保存 30,60 d。按 2015 年版《中国药典》(四部)1105 通则项下平板法对样品微生物含量进行测定,分别检测细菌总数,见表 3。结果发现未处理样品保存 0,5,10,30,60 d 时间后霉菌与酵母菌总量分别为 (50 ± 0), (65 ± 0), (50 ± 0), (55 ± 5), (60 ± 15) cfu · g<sup>-1</sup>。臭氧处理、硫熏处理后样品中均未检测到霉菌与酵母菌。

表 3 不同方式处理后当归样品中细菌总量

Table 3 Microbial content in *Angelicae Sinensis Radix* treated by different methods

t/d	未处理细菌	臭氧处理细菌	硫熏处理细菌
0	25 750 ± 750	10 500 ± 500	6 500 ± 500
5	3 750 ± 2 250	3 250 ± 1 250	4 750 ± 250
10	2 500 ± 500	2 500 ± 1 500	5 000 ± 1 000
30	16 750 ± 2 250	6 750 ± 5 250	4 000 ± 1 500
60	41 500 ± 6 500	1 500 ± 500	4 750 ± 250

由表 3 可知,0 d 时,经臭氧处理及硫熏处理后当归样品中细菌总量较未处理样品均显著降低,且硫熏处理当归的灭菌效果比臭氧处理效果更为显

著,而杀灭霉菌与酵母菌的效果相当。加速储藏 5, 10 d 后,未处理与臭氧处理样品较 0 d 的当归样品中细菌总量持续降低,而硫熏蒸处理后的当归菌含量虽有所下降,但下降幅度不大。常态法储藏 30, 60 d 后,未处理的当归样品中细菌总量呈现先减后增;但臭氧处理后当归样品 60 d 时的细菌总量远低于 30 d 的;硫熏处理的当归样品储藏 30,60 d 后细菌总量较 0 d 小幅降低,但并未呈现时间越长,细菌总量越低的趋势。从微生物含量角度来看,臭氧处理方法比硫熏处理方法更能达到延长当归储藏期的效果。

### 3 讨论

硫熏处理药材的工艺历史悠久,在除霉、除虫及亮化药材方面有着独特优势,但硫熏处理药材带来的危害逐渐受到重视。臭氧作为一种绿色杀菌剂,应用范围愈加广泛,本文比较了臭氧及硫熏处理后当归药材品质变化情况。结果发现硫熏处理后药材外观品相发生明显变化,颜色变得鲜亮,进一步证实了硫熏处理对药材具有漂白作用。硫熏处理后当归中阿魏酸的质量分数较未处理的样品降低了 34.43%,这与前人的相关研究结论是一致的<sup>[19]</sup>;臭

氧处理对当归中阿魏酸含量也有影响,与未处理的当归样品比较降低了23.72%,较硫熏处理影响较小。臭氧处理及硫熏处理后当归挥发油颜色呈金黄色及淡黄色,体积较未处理样品分别降低了53.85%和76.92%。

从化学成分数量和种类来看,臭氧处理和硫熏处理较未处理样品均发生了较大的变化,可能是由于臭氧的强氧化性及硫熏过程导致蒿本内酯转化为蒿本内酯含硫衍生物,且这2种方式处理后当归挥发油的主要成分蒿本内酯质量分数均有所降低。本文采用平板计数法对不同处理方法和储藏周期的当归中微生物总量进行测定,结果发现臭氧处理及硫熏处理均不能够杀灭当归中所有微生物,但均能够显著减少当归中微生物含量,特别是霉菌与酵母菌含量,为延长当归药材的储藏周期提供参考。

本文比较了臭氧及硫熏处理后当归的外观品相、阿魏酸含量、挥发油含量、挥发油成分及贮藏过程中微生物含量,结果表明臭氧处理后当归的各项指标均优于硫熏处理,有望成为当归硫熏处理的替代技术。但研究中发现臭氧的氧化性很强、半衰期较短且有刺激性气味,使用时需现制现用,因此,若将中药材臭氧加工工艺应用于大生产,对设备、车间及人员操作等有较高要求。臭氧处理药材可通过气调处理包装设备进行中药材的处理及包装作业,或者建立高标准的药材仓库,通过臭氧循环气流对仓库储藏的中药材进行大规模处理。目前,臭氧处理技术应用于中药材大规模处理的研究相对薄弱,后续将针对中药材臭氧加工工艺及其中试设备开发等内容进行研究。

[参考文献]

[1] 宫文霞,周玉枝,李肖,等.当归抗抑郁化学成分及药理作用研究进展[J].中草药,2016,47(21):3905-3911.

[2] 李曦,张丽宏,王晓晓,等.当归化学成分及药理作用研究进展[J].中药材,2013,36(6):1023-1028.

[3] 王刚,晋小军,王辉,等.硫磺熏制与贮藏期对当归二氧化硫残留量的影响[J].时珍国医国药,2014,25(2):453-455.

[4] 卢晓琳,马逾英,张福卓,等.不同硫磺熏蒸程度白芷二氧化硫残留量与有效成分含量的相关性[J].中国

实验方剂学杂志,2013,19(9):139-142.

[5] 靳灿灿,李会军.硫磺熏蒸对天麻有效成分的影响[J].中成药,2014,36(8):1706-1710.

[6] 娄雅静,蔡皓,陈逸珺,等.微波消解-ICP-AES法分析测定当归与硫磺熏蒸当归中重金属、硫和微量元素[J].中国新药杂志,2013,22(6):719-722.

[7] 淳于兴华,温立坤,李珂,等.臭氧灭菌技术在药厂10万级洁净区的应用研究[J].中国药事,2009,23(9):935-936.

[8] 张红杰,赵永强,李来好,等.臭氧减菌化处理罗非鱼片冰温贮藏过程中蛋白质生化特性的变化[J].水产学报,2015,39(10):1569-1576.

[9] 陈佑东,武雪冰,郭香.臭氧低温灭菌器的研究[J].中国消毒学杂志,2016,33(2):101-104.

[10] 王裕祥,黄伟晨,张鑫,等.微气泡臭氧强化污泥碳源的释放过程[J].环境工程学报,2017,11(4):2426-2432.

[11] 宋丽丽,范丙义,谷传动,等.中药粉气悬浮臭氧逆流接触灭菌方法的研究[J].中国药学杂志,2005,40(9):684-688.

[12] 卢鹏伟,张启明,宋丽丽,等.中药粉臭氧灭菌工艺的研究[J].中成药,2006,28(6):901-903.

[13] 胡彦君,王雅琪,伍振峰,等.臭氧灭菌技术在中药及其制剂应用中的研究进展[J].中国中药杂志,2015,40(16):3137-3141.

[14] 王学成,聂鹤云,龙琴.螺旋藻两种灭菌工艺的实验研究[J].化工管理,2016,31(11):291.

[15] 张凤瑞,周贤,刘炎,等.当归补血汤中当归的鉴别及阿魏酸的含量测定[J].时珍国医国药,2014,25(1):98-100.

[16] 张小飞,詹娟娟,吴司琪,等.当归挥发油提取工艺优化及其乳化芳香水成分分析[J].中国实验方剂学杂志,2017,23(5):27-31.

[17] 张庆,茹庆国,林红梅,等.当归挥发油分子蒸馏馏分GC-MS分析及抗氧化研究[J].中国中医药信息杂志,2016,23(2):82-87.

[18] 杨茂华,张涛,于猛,等.正交试验优选当归挥发油的超临界CO<sub>2</sub>流体萃取工艺[J].中国实验方剂学杂志,2017,23(4):34-37.

[19] 庄志宏,毛克臣,陈志峰,等.硫磺熏蒸前后当归中阿魏酸含量的比较研究[J].中国中医药信息杂志,2011,18(8):60-61.

[责任编辑 刘德文]