

# 植物提取类甲醛净化剂效果评价与分析

李明阳<sup>1</sup>, 范慧方<sup>1</sup>, 张 舸<sup>1\*</sup>, 白 姣<sup>1</sup>, 张晓鹏<sup>2</sup>  
(1. 北京科技大学土木与资源工程学院, 北京 100083;  
2. 京山瑞雪(北京)科技有限公司, 北京 100020)

**摘要:**搭建密封环境舱实验台,选取性能评价指标,用溶液鼓泡法发生甲醛气体,将甲醛气体以恒定浓度连续通过环境舱入口,对植物提取类甲醛净化剂的净化性能和应用效果进行评价与分析。研究表明,甲醛净化曲线在测试过程中呈下降趋势,变化规律符合指数函数型衰减;随着样品稀释倍数的增加,甲醛去除率、甲醛净化量和洁净空气量均呈下降趋势,但下降倍数小于稀释倍数;由于净化能力的限制,随着甲醛初始浓度的增加,甲醛去除率和洁净空气量呈先增加再减小的趋势,甲醛净化量呈持续增加趋势。

**关键词:**甲醛;植物提取液;甲醛净化剂;环境舱;净化效果

中图分类号:X132

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2019)S-0131-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2019.S.029

## Evaluation and analysis on effect of formaldehyde purifying agent extracted from plant

LI Ming-yang<sup>1</sup>, FAN Hui-fang<sup>1</sup>, ZHANG Ge<sup>1\*</sup>, BAI Jiao<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-peng<sup>2</sup>

(1.School of Civil and Resource Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2.Jingshan Ruixue (Beijing) Technology Co., Ltd., Beijing 100020, China)

**Abstract:**A performance evaluation index is selected, a sealed environmental chamber test bench is set up, and formaldehyde gas is generated by solution bubbling method. Formaldehyde passes continuously through the inlet of the environmental chamber at a constant concentration, the purification performance and application effect of the formaldehyde purifying agent that is extracted from plant are evaluated and analyzed. The results show that the formaldehyde purification curve shows a downward trend during the test, and the change rule accords with the exponential function type attenuation; As the dilution ratio of samples increases, the formaldehyde removal rate, the formaldehyde purification amount and the clean air delivery rate all show a downward trend, but the decline ratio is smaller than the dilution ratio. Due to the limitation of purification capacity, as the initial concentration of formaldehyde increases, the formaldehyde removal rate and the clean air delivery rate increase firstly and decrease then, while the amount of formaldehyde purification remains increasing.

**Key words:** formaldehyde; plant extracts; formaldehyde purifying agent; environmental chamber; purification effect

有统计数据表明,在现代社会中大多数人 90% 以上的时间是在室内度过的<sup>[1]</sup>。现如今,室内空气污染已成为仅次于煤烟污染和石油化工污染的第三大污染,正严重危害着人们的身体健康<sup>[2]</sup>。劣质的建筑材料、室内装饰和家具中可能含有大量的游离甲醛,游离甲醛不断释放到房间中,是对人们身体健康构成威胁的主要因素<sup>[3-7]</sup>。因此,研发新型高效且对人体无害的甲醛净化剂是一项亟待开展的工作。

现有化学类甲醛净化剂按作用原理可分为两类:氧化剂和亲核试剂<sup>[8-9]</sup>。生物物质净化剂以天然

植物为原料,绿色无害,备受人们关注。研究表明,天然植物,如吊兰、绿萝、决明子、吴茱萸等能够有效去除甲醛<sup>[10-13]</sup>。天然植物中含有氨基化合物、酚类化合物以及各种醇和酯类物质<sup>[14-16]</sup>,这些物质在植物体内可与甲醛自发进行化学反应<sup>[17]</sup>。

本文以一种天然植物提取类甲醛净化剂为研究对象,对其净化性能和应用效果进行评价与分析。依据我国现行空气净化产品性能评价标准,选取甲醛去除率、甲醛净化量和洁净空气量作为性能评价指标,通过搭建密封环境舱实验台,用溶液鼓泡法发生甲醛气体,采用将甲醛气体以恒定浓度连续通过

收稿日期:2019-06-11;修回日期:2019-09-03

作者简介:李明阳(1992-),男,硕士,研究方向为空气净化,1772948347@qq.com;张舸(1974-),男,博士,副教授,研究方向为空气净化、室内空气品质与健康,通讯联系人,zhangger@foxmail.com。

环境舱入口的方式,研究喷雾型净化剂对甲醛的净化效果,建立其性能评价体系。

## 1 实验部分

### 1.1 仪器与试剂

QC-2B 型大气采样仪,北京市劳动保护科学研究院;SP-723PC 型分光光度计,上海圣科仪器设备有限公司;ALICAT 质量流量控制器,北京朗润达科贸有限公司;Agilent 7820A 气相色谱仪,美国安捷伦;密封环境舱(0.64 m×0.49 m×0.39 m,材质为 304 不锈钢板),实验室自制。

甲醛、酚试剂、硫酸铁铵、盐酸均为分析纯;稀释用水为去离子水;QQM-1 型甲醛净化剂由京山瑞雪(北京)科技有限公司提供。

### 1.2 甲醛净化剂的配制

由于提取液研制成本较高,为了降低成本和利于量产,对提取液原液进行 1 倍、2 倍、3 倍、4 倍稀释,浓度从高到低编号为 1~4 号,在满足净化要求

的前提下寻求最佳浓度配比。

### 1.3 净化剂性能评价指标确定

依据我国现行空气净化产品性能评价标准《室内空气净化产品净化效果测定方法》(QB/T 2761—2006)<sup>[18]</sup>、《室内空气净化功能涂覆材料性能》(JC/T 1074—2008)<sup>[19]</sup>、《空气净化器》(GB/T 18801—2015)<sup>[20]</sup>,选取甲醛去除率、甲醛净化量、洁净空气量作为性能评价指标。

### 1.4 实验平台与测试方法

#### 1.4.1 甲醛浓度测定方案设计

依据国家标准《公共场所空气中甲醛测定方法》(GB/T 18204.26—2000)<sup>[21]</sup>,选用酚试剂分光光度法作为甲醛浓度的定量测定方法,用气相色谱仪检测甲醛气体发生装置的稳定性。

#### 1.4.2 实验台管路系统设计

实验包括两部分内容:一部分是甲醛气体发生装置稳定性检测;另一部分是舱内甲醛气体净化定量实验。管路系统原理图如图 1 所示。

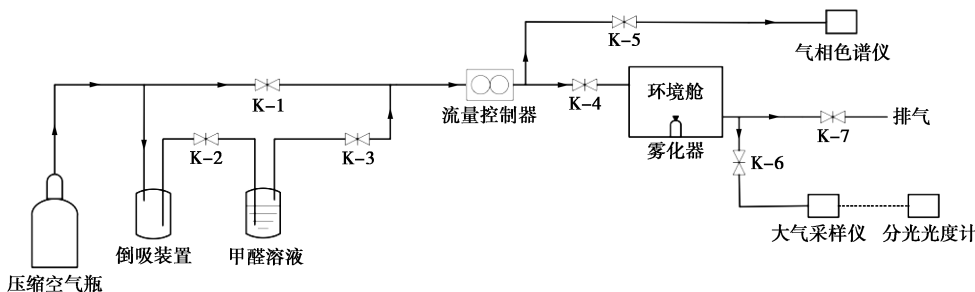


图 1 实验管路系统原理图

#### (1) 甲醛气体发生装置稳定性检测

打开阀门 K-1、K-2、K-3,从压缩空气瓶流出的空气流经装有甲醛溶液的钢瓶装置,吹出的气体即为含有甲醛的空气,用流量控制器控制空气流量。关闭阀门 K-4,打开阀门 K-5,将含有甲醛的空气通入气相色谱仪,对甲醛浓度进行实时监测。

#### (2) 舱内甲醛气体净化定量实验

打开阀门 K-1、K-2、K-3,通过对阀门开度进行调整,改变鼓泡法空气的流量占比,发生多个不同浓度的甲醛气体,关闭阀门 K-5,打开阀门 K-4、K-7。当甲醛气体通入环境舱后,经过一段时间(大约 20 min)甲醛浓度趋于稳定,打开阀门 K-6,用大气采样仪采集舱内空气,并用分光光度计测定甲醛浓度,以此浓度作为甲醛初始浓度。此后每隔 5 min,打开一次阀门 K-6,测定甲醛浓度,采样总时长为 60 min。实验过程中,在每组实验前先将样品换成去离子水,以此作为对照实验。

### 1.5 系统检测与样品采集

#### 1.5.1 甲醛气体发生装置稳定性检测

气相色谱仪检测结果如图 2 所示,甲醛发生装置发生甲醛浓度标准差仅为 0.01,甲醛浓度十分稳定,可认为在实验过程中保持不变。

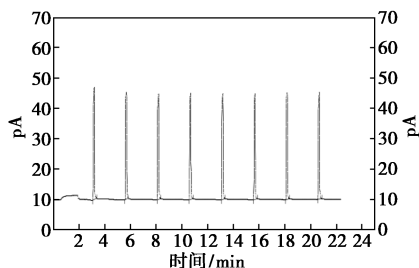


图 2 甲醛稳定性检测色谱图

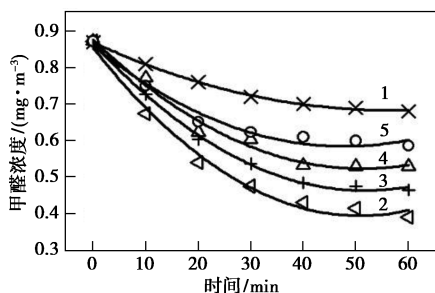
#### 1.5.2 样品采集

采样设备为大气采样仪,采样管为大型气泡吸收管,采样前在吸收管内倒入 5 mL 酚试剂吸收液,

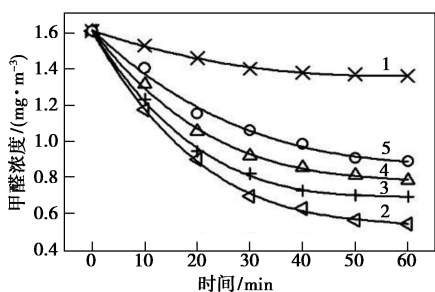
将吸收管一端与舱壁采样管连接,另一端与采样仪连接,设置采样流量为0.5 L/min,采样5 min。采样后,将吸收液倒入比色管,用少量吸收液清洗吸收管,使比色管内溶液总体积保持在5 mL。在各管内加入1%的硫酸铁铵溶液0.4 mL,摇匀,静置15 min。使用1 cm比色皿,以去离子水作参比,在630 nm波长处,用分光光度计测定吸收液吸光度,依据甲醛标准曲线标定结果计算甲醛浓度。

## 2 结果与讨论

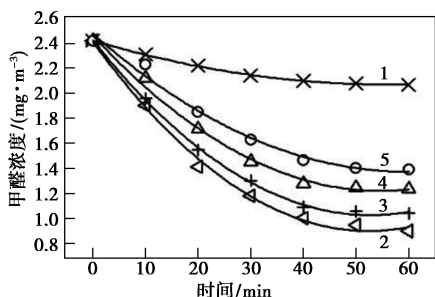
实验中样品喷雾量固定为约0.25 mL/min,发生3个不同甲醛初始浓度,甲醛净化曲线如图3所示。



(a) 甲醛初始浓度为0.87 mg/m<sup>3</sup>



(b) 甲醛初始浓度为1.61 mg/m<sup>3</sup>



(c) 甲醛初始浓度为2.44 mg/m<sup>3</sup>

1—水;2—1号;3—2号;4—3号;5—4号

图3 甲醛净化曲线

由图3可知,甲醛净化曲线在测试过程中呈下降趋势,变化规律符合指数函数型衰减,表明样品具有一定的净化能力。在初始阶段,净化速率较快,随

着时间的延长和甲醛浓度的降低,净化速率逐渐减小,最终甲醛浓度趋于稳定。与喷洒去离子水相比,喷洒样品净化效果更为显著。

### 2.1 甲醛去除率

甲醛去除率能够直观地反映样品净化效果,计算公式如式(1)所示:

$$\eta = [(c_1 - c_2)/c_1] \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\eta$ 为甲醛去除率,%; $c_1$ 为甲醛初始浓度,mg/m<sup>3</sup>; $c_2$ 为甲醛终止浓度,mg/m<sup>3</sup>。

如图4所示,在相同的甲醛初始浓度下,浓度不同的样品净化能力具有一定差异。

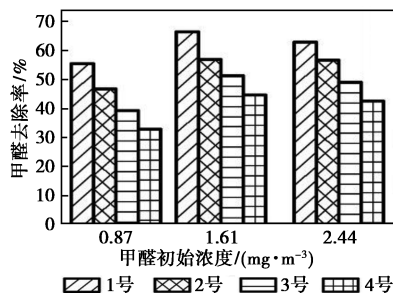


图4 甲醛去除率

由图4可知,样品浓度越大甲醛去除率越高,随着样品稀释倍数的增加,甲醛去除率呈下降趋势,但甲醛去除率下降倍数小于稀释倍数。当甲醛初始浓度由0.87 mg/m<sup>3</sup>设定成1.61 mg/m<sup>3</sup>,各样品甲醛去除率均有所增加;当甲醛初始浓度由1.61 mg/m<sup>3</sup>设定成2.44 mg/m<sup>3</sup>时,各样品甲醛去除率没有增加反而有所降低。根据反应动力学,甲醛净化剂样品含量制约着净化反应的进行,从而不能将舱内甲醛浓度降至更低水平。

### 2.2 甲醛净化量

计算甲醛自然衰减和总衰减曲线对时间的曲线积分,积分面积之差反映的是净化效果,单位时间甲醛净化量能够直观地反映净化效果。

自然衰减曲线积分面积的计算如式(2)所示:

$$A_n = \int_0^t c_n dt \quad (2)$$

式中: $A_n$ 为自然衰减积分面积,mg/m<sup>3</sup>; $c_n$ 为甲醛自然衰减浓度,本研究中为常数且等于甲醛初始浓度,mg/m<sup>3</sup>; $t$ 为时间,min。

总衰减曲线积分面积的计算如式(3)所示:

$$A_e = \int_0^t c_e dt \quad (3)$$

式中: $A_e$ 为总衰减积分面积,mg/m<sup>3</sup>; $c_e$ 为喷洒样品时舱内甲醛浓度,mg/m<sup>3</sup>。

总净化量计算公式为式(4)：

$$M = V \cdot (A_e - A_n) \tag{4}$$

式中： $M$  为甲醛净化量， $\text{mg}$ ； $V$  为环境舱容积， $\text{m}^3$ 。

单位时间甲醛净化量  $m$  ( $\text{mg}/\text{min}$ ) 计算公式为式(5)：

$$m = M/t \tag{5}$$

图 5 为相同甲醛初始浓度下的单位时间甲醛净化量。

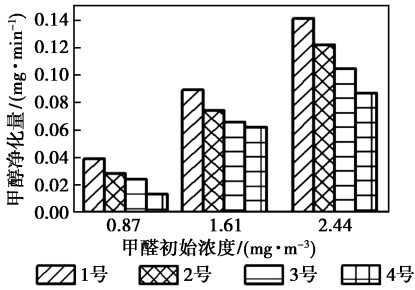


图 5 单位时间甲醛净化量

由图 5 可知，在相同的甲醛初始浓度下，样品浓度越大净化量越高，随着样品稀释倍数的增加，净化量呈下降趋势，但净化量下降倍数小于稀释倍数。随着甲醛初始浓度的增大，各样品净化量均呈增大趋势，说明样品在较高浓度的甲醛污染物下仍然具有一定的净化效果，并未因甲醛浓度的增加而影响其净化能力。

### 2.3 洁净空气量

洁净空气量是将净化产品的净化能力等效成采用自然通风净化方式达到相同效果时所提供的新风量。计算公式如式(6)：

$$CADR = V \cdot (k_e - k_n) \tag{6}$$

式中： $CADR$  为洁净空气量， $\text{m}^3/\text{min}$ ； $k_e$  为总衰减常数， $\text{min}^{-1}$ ； $k_n$  为自然衰减常数， $\text{min}^{-1}$ ，本研究中为 0。

甲醛浓度随时间变化的函数关系为式(7)：

$$c_t = c_0 \cdot e^{-kt} \tag{7}$$

式中： $c_t$  为  $t$  时刻舱内甲醛质量浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ； $c_0$  为舱内甲醛质量浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ； $k$  为衰减常数， $\text{min}^{-1}$ ； $e$  为函数。

对式(7)等式两边取对数并进行线性回归，可得衰减常数为式(8)：

$$k = (1/t) \cdot (\ln c_0 - \ln c_t) \tag{8}$$

图 6 为相同甲醛初始浓度下的洁净空气量。

由图 6 可知，在相同的甲醛初始浓度下，样品浓度越大洁净空气量越高，随着样品稀释倍数的增加，洁净空气量呈下降趋势，但下降倍数小于稀释倍数。当甲醛初始浓度由  $0.87 \text{ mg}/\text{m}^3$  设定成

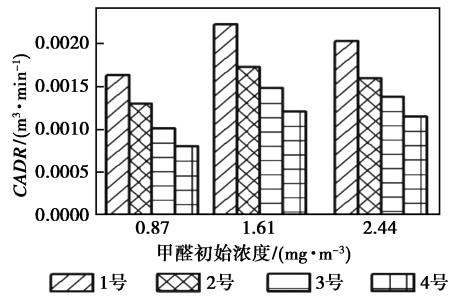


图 6 洁净空气量

$1.61 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，各样品洁净空气量均有所增加；当甲醛初始浓度由  $1.61 \text{ mg}/\text{m}^3$  设定成  $2.44 \text{ mg}/\text{m}^3$  时，各样品洁净空气量均未增加反而有所降低。说明当甲醛浓度增加到一定程度后，样品与甲醛达到反应平衡，此时继续增加甲醛浓度无法实现对甲醛的进一步净化。

### 3 结论

(1) 甲醛净化曲线在测试过程中均呈下降趋势，变化规律符合指数函数型衰减，表明各浓度样品均具有一定的净化效果。在初始阶段，净化速率较快，随着时间的延长和甲醛浓度的降低，净化速率逐渐减小，最终甲醛浓度趋于稳定值。

(2) 浓度不同的样品甲醛去除率、甲醛净化量和洁净空气量均具有一定差异。样品浓度越大甲醛去除率、甲醛净化量和洁净空气量越高，且随着样品稀释倍数的增加 3 个指标均呈下降趋势，但下降倍数小于稀释倍数。由于净化能力的限制，随着甲醛初始浓度的增加，甲醛去除率和洁净空气量呈先增加再减小的趋势，甲醛净化量呈持续增加趋势。

(3) 本方法能够用于甲醛净化剂的净化效果评价，能够反映出甲醛净化剂净化能力随测试时间和自身浓度的变化规律，对同类产品的性能评价具有一定的借鉴意义。

### 参考文献

[1] Teichman K Y. Indoor air quality: Research needs[J]. Occup Med, 1995, 10(1): 217-227.

[2] Jones A P. Indoor air quality and health[J]. Atmospheric Environment, 1999, 28(33): 4535-4564.

[3] 周春. 人造板甲醛平衡时间研究[J]. 绿色科技, 2018, (22): 83-84.

[4] 姚晨岚, 吴静霞, 黄松军. 沙发填充物中甲醛和 TVOC 释放讨论研究[J]. 家具, 2017, 38(3): 107-110.

- 氧化制备丙酮酸盐的研究[J].太阳能学报,2006,27(6):623-627.
- [9] 廖桂茵,姜胜斌,袁华,等.丙酮酸的电化学合成法[J].天津化工,2000,14(6):29.
- [10] 李红,江琳才.间接电催化氧化法合成丙酮酸[J].精细化工,1999,16(3):29-31.
- [11] 郑元昌.一种生产丙酮酸的酶化工艺[J].化工生产与技术,2002,(2):33.
- [12] 穆晓清.酶促生物转化丙酮酸生产的研究[J].工业微生物,2004,(4):38-41.
- [13] 刘立明,李寅,堵国成,等.生物技术法生产丙酮酸的研究进展[J].生物工程学报,2002,18(6):651-655.
- [14] 刘立明,李寅,陈坚.光滑球拟酵母发酵生产丙酮酸[J].精细与专用化学品,2003,11(23):15-18.
- [15] 龚道坤.发酵法生产丙酮酸的工业化提炼工艺介绍[J].医药工程设计,2007,(6):19-22.
- [16] 王飞娟,张爽,王燕.丙酮酸合成工艺的研究进展[J].科技与企业,2012,(2):192.
- [17] 陆平波,莫芬珠.丙酮酸酯的合成[J].化工时刊,2002,(4):48-49.
- [18] 蒋崇文,杨政.丙酮酸乙酯的合成[J].化学反应工程与工艺,2000,16(4):401-404.
- [19] 陈宇,蔡德玲,张艳梅,等.硫酸亚铁催化乳酸乙酯合成丙酮酸乙酯[J].石河子大学学报(自然科学版),2005,23(2):149-151.
- [20] 陈苏芳,张道洪,袁华,等.一种高效无污染合成丙酮酸乙酯的新方法[J].湖北化工,2003,(1):38-39.
- [21] 陈苏芳,袁华,喻宗沅.丙酮酸乙酯合成新工艺[J].精细石油化工进展,2008,9(9):22-24.
- [22] 王宇婷,高霞,张深松,等.TBP-NO<sub>2</sub>对乳酸酯的氧化性能研究[J].化学试剂,2010,32(2):162-164.
- [23] 王宇婷,高霞,张深松.NO<sub>2</sub>氧化合成丙酮酸乙酯[J].化学试剂,2006,28(9):559-560,562.
- [24] 梅新林,邹勇,陶鹏飞,等.VPO/TiO<sub>2</sub>催化乳酸乙酯绿色合成丙酮酸乙酯[J].精细化工,2017,34(8):868-874.
- [25] 肖毅,黄红梅,尹笃林,等.VOSO<sub>4</sub>/活性炭上常压催化氧化乳酸乙酯合成丙酮酸乙酯[J].分子催化,2010,24(4):298-303.
- [26] 严德鹏,蒋小平,蒋海明,等.超声辐射下杂多酸催化过氧化氢氧化合成丙酮酸乙酯[J].零陵学院学报,2004,2(11):128-129.
- [27] 胡旭灿,沈伟,徐华龙,等.乳酸乙酯在Ag/NaY催化剂上的脱氢反应制丙酮酸乙酯[J].催化学报,1998,19(5):45-48.
- [28] 杨永泰,沈伟,徐华龙,等.乳酸乙酯催化氧化合成丙酮酸乙酯[J].复旦学报(自然科学版),1999,38(6):701-704.
- [29] 沈俭一,季伟捷,韩毓旺,等.一种乳酸乙酯气相催化氧化制备丙酮酸乙酯的方法:CN1359893[P].2002-07-24.
- [30] 陈昌志,明刚,文东.银催化剂在甲醛生产中的实际应用[J].贵州化工,2002,27(1):36-37,44.
- [31] 储昭华.电解银催化剂在甲醛生产中的应用[J].中氮肥,1999,(6):38-41.
- [32] 邓景发,项一非,叶良云,等.甲醇在电结晶银催化剂上催化氧化制浓甲醛[J].催化学报,1983,4(4):266-271.
- [33] 崔小明.我国乙二醛生产技术进展及市场分析[J].精细与专用化学品,2011,19(3):1-5.
- [34] 许芳,崔炳春,崔卫星,等.1,2-丙二醇合成丙酮醛反应催化剂的研究[J].河南化工,2009,26(7):42-43.■
- 1996,31(2):151-155.
- [14] 郭如振,高振华,张荔.生物质甲醛捕捉剂的应用与进展[J].粘接,2010,31(4):64-69.
- [15] Takagaki A, Fukai K, Nanjo F, et al. Application of green tea catechins as formaldehyde scavengers[J]. Journal of the Japan Wood Research Society, 2000, 46: 231-237.
- [16] 魏梅红,李机密,马华章.芦荟植物SOD酶对甲醛气体胁迫的应答[J].安全与环境学报,2007,7(2):29-31.
- [17] Besson V, Rebeille F, Neuburger M. Effects of tetrahydrofolate polyglutamates on the kinetic parameters of serine hydroxymethyltransferase and glycine decarboxylase from pea leaf mitochondria[J]. Biochemical Journal, 1993, 2: 425-430.
- [18] 中国轻工业联合会.QB/T 2761—2006室内空气净化产品净化效果测定方法[S].北京:中国轻工业出版社,2006.
- [19] 中国建筑材料联合会.JC/T 1074—2008室内空气净化功能涂覆材料净化性能[S].北京:中国建材工业出版社,2008.
- [20] 中国轻工业联合会.GB/T 18801—2015空气净化器[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [21] 中华人民共和国卫生部.GB/T 18204.26—2000公共场所空气中甲醛测定方法[S].北京:中国标准出版社,2000.■

## (上接第134页)

- [5] Pickrell J A, Griffis L C, Mokler B V, et al. Formaldehyde release from selected consumer products: Influence of chamber loading, multiple products, relative humidity, and temperature[J]. Environmental Science & Technology, 1984, 18(9): 682-686.
- [6] Dominika G B, Medved S. Determination of free formaldehyde released in wood-based material[J]. Zbornik Gozdarstva in Lesarstva, 2000, 63: 27-46.
- [7] 邹农,梁丽萍.人造板甲醛释放研究进展[J].四川林勘设计, 2018,(2):81-86.
- [8] 朱迪迪,钱华,戴海夏.甲醛清除剂净化效果的实验舱测试和分析[J].环境污染与防治,2012,35(5):54-57.
- [9] 刘长风,刘学贵,臧树良.游离甲醛清除剂的研究进展[J].辽宁化工,2004,(6):331-334.
- [10] 高海,刘伟,解矫.5种观赏植物净化甲醛的效果[J].江苏农业科学,2013,41(5):338-340.
- [11] 周晓晶,梁双燕,金幼菊.13种常用室内观赏植物对甲醛净化效果[J].中国农学通报,2006,(12):229-231.
- [12] 郝延军,桑育黎,赵余庆.决明子蒽醌类化学成分研究[J].中草药,2003,34(1):18-19.
- [13] 黄量,唐元清,冯孝章.吴茱萸化学成分的研究[J].药学报,2003,34(1):18-19.