

臭氧及其在肉制品加工中的应用研究现状

梁龙¹, 陆利霞^{1,2*}, 游京晶^{1,2}, 熊晓辉^{1,2}

(1. 南京工业大学食品与轻工学院, 江苏南京 210009; 2. 江苏省食品安全快速检测公共技术服务中心, 江苏南京 210009)

摘要 从臭氧的产生、性质以及臭氧在肉制品加工中的应用等方面进行阐述, 为臭氧技术在肉制品加工中的进一步应用提供参考。

关键词 臭氧; 臭氧水; 强氧化; 肉制品; 食品安全

中图分类号 S879.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)34-13366-03

Ozone and Its Application in Meat Products Processing

LIANG Long et al (College of Food Science and Light Industry, Nanjing University of Technology, Nanjing, Jiangsu 210009)

Abstract This article elaborated in terms of ozone generation, properties and the application in meat products processing. It provided the reference for the further application of ozone technology in meat products processing industry.

Key words Ozone; Ozone water; Oxidation; Meat product; Food safety

臭氧是作为地球的‘保护伞’而为人们所熟知, 然而它的另外一个‘身份’普通大众却鲜为人知, 那就是消毒剂。臭氧最早是由德国人在 1785 年使用发电机时发现的, 但是对其命名却是由法国科学家舒贝因在 1840 年正式命名为 Ozone^[1]。在食品加工中臭氧的最早使用是在 1909 年法国科隆市的冷冻肉加工厂中, 后来逐渐用于水产、果蔬和农产品的贮藏冷库消毒以及食品加工中车间和生产用水的消毒等。2001 年美国 FDA 宣布臭氧可直接作为食品添加剂用于食品加工, 被批准为“GRAS”(一般认为安全)^[2]。我国在 2008 年最新颁布的“消毒技术规范”中对臭氧的杀菌作用、使用范围和使用方法作出了规定, 并对臭氧的杀菌作用作出肯定: 臭氧是一种广谱杀菌剂, 不仅可以用来杀灭细菌繁殖体和芽孢、病毒、真菌等还能够破坏肉毒杆菌毒素和立克次氏体等, 同时具有除腥、除臭和漂白作用。臭氧适用于饮用水、餐饮器具、空气和果蔬的消毒, 且不同的消毒对象所需浓度和作用时间也不一样。随着全球化经济的发展, 对安全产品的需求, 寻找一种安全无污染的消毒的技术迫在眉睫。臭氧技术作为一种可以替代卤素消毒的技术在食品工业及其相关领域得到了广泛应用。笔者将从臭氧的基本性质、杀菌效果以及臭氧对产品的影响等方面进行阐述。

1 臭氧的基本性质 臭氧(O₃), 分子量是 48.00 D, 分子结构为钝角三角形。其形成是由高能量撞击氧分子(O₂)形成的氧原子(O)与氧分子结合形成。所以臭氧的形成伴随着大量能量的消耗, 而这种能量来源可以是: ①紫外线(UV)照射; ②电晕放电(Corona Discharge, CD)。由于紫外线照射本身的技术缺陷, 所以目前常用的生成臭氧方法是电晕放电法。电晕放电是利用原料气体通过介电材料在两个电极之间传递产生臭氧, 这种方法可以生成满足商业需要的臭氧浓度, 但其缺陷是未经过前处理的空气在高湿环境中产生高浓

度臭氧时可能会产生对人体和环境有害的氮氧化合物(氮氧化合物与水中的氯反应会生成致癌物质——THMs, 三卤甲烷)。

臭氧气体可以直接通入需要消毒的空间或者直接通入水中, 生成臭氧水来清洗产品^[3]。虽然臭氧在气态中相对稳定, 但当其溶于水后就很容易分解。如表 1 所示, 臭氧在气态时的半衰期远远比在水溶液中的半衰期长^[4-5]。

表 1 臭氧在不同温度和不同形态下的半衰期

臭氧气体		臭氧水	
温度//℃	半衰期	温度//℃	半衰期
-50	3 m	13	23 min
-35	18 d	20	20 min
-25	8 d	25	15 min
20	3 d	30	16 min
120	1.5 h	35	8 min

臭氧在水中的溶解度不高(常温常压下溶解度是氧气的 13 倍), 其溶解速率受压力、温度、pH 与吸收液的接触面积、臭氧流量、接触时间以及水的纯度等因素影响^[6]。溶液中温度和 pH 越高, 臭氧的溶解度就越低, 半衰期就越短。当水质越纯净时臭氧在水中的溶解度也相应增加, 因为水中矿物质和有机质的存在会催化臭氧分解。当臭氧气体与水的接触面积变大时臭氧在水中的溶解度也会增加^[7]。

臭氧的氧化还原电位是 2.07 V, 在已知的消毒剂中是最强的一种。臭氧的主要物理性质见表 2^[4,8]。

表 2 臭氧的物理性质

物理性质	液态	气态
分子量	47.98 g/mol	
密度	1 352 kg/m ³ (在 -112 ℃下)	2.141 kg/m ³ (在 0.101 3 MPa, 0 ℃下)
沸点	-111.3 ℃ (0.110 1 MPa)	
熔点	-192.5 ℃	
临界点	临界温度: -12.2 ℃ 临界压力: 5.573 MPa 临界密度: 540 kg/m ³	
颜色	深蓝色	淡蓝色

基金项目 “十二五”农村领域国家科技计划课题(2013BAD19B09); 江苏省科技基础设施建设计划(BM2012026)。

作者简介 梁龙(1989-), 男, 河南周口人, 硕士研究生, 研究方向: 食品安全检测。* 通讯作者, 副教授, 从事食品安全和微生物方面的研究。

收稿日期 2013-11-05

2 臭氧在肉制品工业中的应用

2.1 臭氧在水产方面的应用 早在 20 世纪初国外就开始了臭氧水在水产保鲜中的应用研究。但直到 20 世纪后期臭氧水在水产保鲜中的应用才有了飞速发展。Blogoslawski 等^[9]研究发现,利用含有臭氧的冰处理虾、鲑鱼和鲑鱼等海产品时可以有效减少致病菌的产生,并且延长货架期 3~5 d。Sassen 等^[10]利用臭氧水延长虾的货架期。Chen 等^[11]将臭氧用于虾的保藏,发现 5 mg/L 臭氧水溶液浸泡虾肉 120 min 后并未使虾肉中的 DNA 发生诱变。G. Manousaridis 等^[12]利用 1 mg/L 臭氧水处理贻贝肉,发现贻贝肉微生物数量显著减少,三甲胺(TMA-N)值、挥发性盐基氮(TVB-N)值在贮藏期间明显优于对照组,并且可以保持原有贻贝肉的品质。

Kristi M. Crowe 等^[13]采用喷淋浓度为 1.5 mg/L 臭氧水的方法对三文鱼片进行处理,研究表明臭氧处理可以显著减少最初的需氧细菌数量和李斯特菌数量($P \leq 0.05$),而脂质氧化水平没有显著增加。

我国在利用臭氧对水产品保鲜的研究中也取得了很大进展。臭氧对水产品中的微生物杀灭效果比较明显,与正常的冰温冷藏技术相比,臭氧处理后冰温冷藏不仅不会改变产品质量还能延长其货架期,使产品质量更加安全可靠。臭氧处理条件和对一些水产品的质量安全性见表 3。臭氧处理不同水产品后其品质质量指标一般包括细菌总数、pH、挥发性盐基氮(TVB-N)、硫代巴比妥酸(TBA)值、三甲胺(TMA-N)值、肌红蛋白(Mb)、高铁肌红蛋白(met-Mb)、K 值、颜色和感官等。

表 3 臭氧处理对水产品的质量和安全的影响

水产品	处理条件	质量和安全特性	结果	参考文献
对虾	浸入冰水双蒸水(1:2(W/V))沥干浸入 4℃ 1 mg/L 臭氧水中 10 min,真空冷藏	细菌总数 色度 pH 硬度 TVB-N 值	由初始 5.93 log cfu/g 下降至 4.89 log cfu/g,有效降低初始菌落;臭氧氧化虾青素使红度下降很多,对于 pH、硬度和 TVBN 无显著影响;因臭氧分解快所以不能延长对虾的货架期	[14]
牡蛎	牡蛎:臭氧水 = 1:5 (W/V), 5 mg/L 臭氧水浸泡 10 min, 5℃ 冷藏	TVB-N 值, 细菌总数, 感官评价	货架期延长 2 d, 对各属细菌都有杀灭作用, 使菌相趋于简单	[15]
牡蛎	牡蛎:臭氧水 = 1:6 (W/V), 3 mg/L 臭氧水浸泡 9 min, 4℃ 保存	TVB-N 值 细菌总数 大肠菌群	货架期比对照组延长 4 d, 对牡蛎肉质中的细菌有一定的杀菌效果	[16]
炆蟹	浓度为 0.7 mg/kg 臭氧水喷淋 3 min	菌落总数, 大肠菌群, 副溶血性弧菌, 金黄色葡萄球菌	细菌总数杀灭率达到 90% 以上; 对致病菌杀灭率达到 100%	[17]
鱼片	5 mg/L 臭氧水冲洗鱼体; 5 mg/L 臭氧水冲洗鱼片, 0~5℃ 贮藏	感官评定, 细菌总数, pH, K 值, 持水力, TVB-N, TBA	鱼片保鲜期延长 3 d, 有很好的杀菌效果; pH 值在贮藏期间先降后升; 臭氧水处理对 pH 值没有影响; 臭氧水促进 ATP 的降解, K 值升高; 对 TVB-N 值没有影响, 在贮藏期间延缓 TVB-N 值增加	[18]
罗非鱼	5 mg/L 或 10 mg/L 臭氧水处理 10 min, 鱼片: 臭氧水 = 1:4 (W/V)	色泽, 感官, Mb, met-Mb 和 CO 含量	对色泽影响不显著; CO 含量明显降低; 臭氧水处理使肌红蛋白含量降低	[19]
鲢鱼	2 mg/L 臭氧水, 流速 150 ml/min, 淋洗 10 min, 冰温贮藏	细菌总数 TVB-N	鱼片减菌率达到 91.5%, 有效的抑制细菌的生长, 并延长了保质期	[20]
花蛤	6 mg/L 臭氧水浸 10 min, 花蛤: 臭氧水 = 1:4 (W/V) 4℃ 贮藏	感官 TVB-N 值 pH 值 细菌总数	保鲜期延长了 2 d, 臭氧水处理组 pH 值变化不大, 杀菌率达 92%, 与对照相比抑制了细菌的生长	[21]
鲶鱼	鱼块 3 cm × 1 cm 浸泡在 5 mg/L 和 7 mg/L 的臭氧水中 5 min, 0℃ 贮藏	色差 TVB-N pH 细菌总数	色差并不显著, 随着贮藏时间的延长, 5 mg/L 处理较佳, 保持了较好的感官品质, 延长了保质期	[22]
鳃	鱼: 水 = 1:1 (W/V) 臭氧水浓度为 2~3 mg/L 浸泡保存 -1.1~0℃	细菌总数 TVB-N TBA	菌落总数下降 2 个数量级, TBA 值有明显增加的趋势, 可以延长 1~2 d 的保鲜期	[23]
鲳鱼	鱼块 13 cm × 7 cm 流动臭氧水 1.8 mg/L 浸泡 10 min 沥干, 冰温贮藏	菌落总数 TVB-N, TBA, TMA-N, pH, K 值	由于沥干过程中接触空气致使臭氧处理菌落总数比对照组减少 5%, 但是使鲳鱼货架期延长了 18d, 并且延缓了脂肪氧化	[24]

2.2 臭氧在禽类和畜类肉制品中的应用 臭氧最早应用在生产车间和工具表面的消毒杀菌, 然后逐渐应用到肉制品本身。在现有研究中, 臭氧的强大杀菌作用已被应用到肉制品的杀菌保鲜中, 其中研究较多的是对牛肉、猪肉和鸡肉的处理, 主要研究是对产品中微生物的杀灭效果, 其次是研究臭氧带来的负面效果, 对产品的颜色、感官、pH 值、TBA 值、TVB-N 值的影响见表 4。

由表 3、表 4 可以看出, 不同种类的原料肉需要不同的处理条件才能达到最佳效果。臭氧在水产中的应用非常广泛, 一般采用臭氧水浸泡的形式处理产品, 但也有使用臭氧

冰处理, 同样可以达到消毒保鲜的效果。在对禽类和畜类肉采用臭氧处理时也较多采用臭氧水浸泡的方法, 同时也有使用臭氧气体处理的方法。前者方法的优势是臭氧水的氧化性比臭氧气体的氧化性更强, 直接接触肉制品能够达到快速杀菌的目的; 其缺点是容易过度氧化, 破坏产品的质量。因为臭氧的强氧化性决定了臭氧对肉的影响不仅能杀灭肉中的有害微生物而且对肉的颜色、气味、质地等物理性质以及化学性质也会产生影响。一般臭氧处理杀灭微生物的同时会延缓挥发性盐基氮的生成, 抑制微生物繁殖从而延长产品的货架期; 臭氧处理也会对肉中的脂肪产生一定

的影响。冯彩萍等^[31]在研究使用臭氧对新工艺腊肉进行处理中发现臭氧促进了脂肪氧化,从而改善了新工艺腊肉

的香味,通过色谱图分析,得到了与传统工艺腊肉近乎相同的挥发性风味物质。

表4 臭氧处理对家禽和家畜肉制品的质量和安全的影響

品种	处理条件	质量和安全特性	结果	参考文献
牛肉	样品厚度 0.5 cm 直径 6.0 cm(约 10 g) 臭氧气体浓度 72 mg/L 0~4℃冷藏	大肠杆菌 TBA 值 表面颜色	臭氧对大肠杆菌有很强的抑制作用;影响因素包括处理时间和温度。0 和 4℃处理 3 h 对脂肪氧化和表面颜色影响不明显,而 0℃24 h 处理 TBA 值达 0.96 mg/kg,严重影响脂肪和表面颜色	[25]
牛肉	样品 7.5 cm × 10.0 cm × 1.0 cm, 4℃臭氧 水浓度 5 mg/L 清洗 5 min, 4℃气调包装	产气荚膜梭菌	臭氧处理可以使牛肉中孢子含量降低 10 cfu/g,并且臭氧可以抑制孢子萌发以及副产物的增加	[26]
猪肉	样品 35 mm × 50 mm × 10 mm, 在 300 ml 的 瓶子中充入 1 000 或 100 mg/L 的臭氧气体 处理 10 min	微生物分析 挥发性物质	臭氧对微生物的杀灭和抑制作用可以减少猪肉中挥发性物质的散失	[27]
牛肉	3.2 kg 样品浸泡在流动的 1% (21.4 mg/L) 臭氧水中处理 7 min 和 15 min	微生物 颜色 感官 气味	浸泡 7 min 和 15 min 都使样品中的总菌数和大肠杆菌显著减少,并且对牛肉的颜色、感官和气味影响没有显著性差异	[28]
鸡肉	一定量样品浸泡在初始浓度为 5~8 mg/L 的臭氧水中 20 min, 真空包装贮藏	TVB-N pH 细菌总数 感官	抑制鸡肉中的细菌总数升高,对 TVB-N 值和 pH 值影响不大,并且可以延长保质期至 11 d	[29]
冷却 猪肉	150 g 样品浸泡在 4 mg/L 臭氧水中 2 min, 沥干后密封冷藏	感官评价 TVB-N TBA 值 细菌总数	随着臭氧浓度的升高,在贮藏期间其 TBA 值变化越大,脂肪氧化越快;对微生物显示出良好的杀灭和抑制效果,能够延长保鲜期达 6 d	[30]

3 结论

从已有研究中可见,臭氧作为消毒剂与其他化学消毒剂相比有不可比拟的优势,主要是:①臭氧是已知最活跃的氧化剂;②臭氧在分解后产生氧气和水,没有其他分解产物;③与含氯消毒剂比较,不产生有毒的卤代化合物;④反应快;⑤对所有类型的微生物都有杀灭效果。所以将臭氧应用于肉制品加工中有其他消毒剂所不能替代的效果。另一方面,因为臭氧的特殊性质,在食品贮藏中臭氧可以起到抑菌、保护产品质量、延长货架期等作用。同时臭氧的强氧化性也会给产品带来一些质量安全问题:脂肪、蛋白质氧化以及其他氧化物质的生成、氢过氧化物的产生都会给食品安全带来挑战。因此对如何使用臭氧,以及对臭氧处理后产物是否会带来食品安全性问题的研究非常重要。

参考文献

- [1] 沈群,王群. 臭氧的特性及其应用[J]. 食品科技,2000(6):70-71.
- [2] U.S. FDA. Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP); Procedures for the Safe and Sanitary Processing and Importing of Juice, Final rule[J]. Federal Register,2001,66(13):6137-6202.
- [3] PERRY J J, YOUSEF A E. Decontamination of raw foods using Ozone - Based sanitization techniques [J]. Food Science and Technology,2011,2: 281-298.
- [4] GONCALVES A A. Ozone-an emerging technology for the seafood industry [J]. Brazilian archives of Biology and Technology,2009,52(6):1527-1539.
- [5] 乔彩云,李建科,李梦颖,等. 臭氧在水中的溶解和消除特性及其对苹果青霉的杀菌效果[J]. 食品科学,2012,33(19):79-82.
- [6] KHADRE M A, YOUSEF A E, KIM J G. Microbiological aspects of ozone applications in food; a review [J]. Food Science,2001,66(9):1242-1252.
- [7] SCHULZ C R, BELLAMY W D. The role of mixing in ozone dissolution systems [J]. Ozone: Science & Engineering,2000,22(4):329-350.
- [8] GUZEL-SEYDİM Z B, GREENE A K, SEYDİM A C. Use of ozone in the food industry [J]. Lebensmittel Wissenschaft and Technologie,2004,37(4):453-460.
- [9] BLOGOSLAWSKI W J, STEWART M E. Some Ozone Applications in Seafood [J]. Ozone: Science & Engineering,2011,33(5):368-373.

- [10] SASSEN K, TIERAEZTLICHE H. Examination of Preservation of the quality of sand shrimp after treatment with ozoned water and ozoned ice [J]. Untersuchungen zur Qualitaetseerhaltung von Nordseegarnelen Bibliogr,1989(4):119-133.
- [11] CHEN H C, HUANG S H, MOODY M W, et al. Bacteriocidal and Mutagenic Effects of Ozone on Shrimp (*Penaeus monodon*) Meat [J]. Journal of Food Science,1992,57(4):923-927.
- [12] MANOUSARIDIS G, NERANTZAKI A, PALEOLOGOS E K, et al. Effect of ozone on microbial, chemical and sensory attributes of shucked mussels [J]. Food Microbiology,2005,22(1):1-9.
- [13] CROWE K M, SKONBERG D, AL BUSHWAY, et al. Application of ozone sprays as a strategy to improve the microbial safety and quality of salmon fillets [J]. Food Control,2012,25(2):464-468.
- [14] 宣伟. 臭氧杀菌结合壳聚糖涂膜对中国对虾保鲜的研究[D]. 杭州:浙江工商大学,2011.
- [15] 曹荣,薛建湖,薛勇,等. 臭氧水对牡蛎细菌菌相及货架期的影响[J]. 食品工业科技,2006,27(5):63-65.
- [16] 庄荣玉,娄永江,黄晓春,等. 臭氧在牡蛎保鲜中的应用[J]. 中国水产,2005(9):67-68.
- [17] 裘迪红,李八方. 臭氧水减菌化处理在炆蟹生产中的应用[J]. 农业工程学报,2008,24(7):273-275.
- [18] 李诚,沈晓玲,谷安超,等. 臭氧处理对鱼片冷却保鲜效果的研究[J]. 肉类研究,2008(4):43-48.
- [19] 郝淑贤,何俊燕,李来好,等. 臭氧水对罗非鱼片色泽影响分析[J]. 食品科学,2013,34(13):50-53.
- [20] 郭姗姗,荣建华,赵思明,等. 臭氧水处理对冰温保鲜脆肉鲩鱼片品质的影响[J]. 食品科学,2009,30(24):469-473.
- [21] 袁勇军,陈伟,蒋海霞. 臭氧水处理与低温保藏对花蛤保鲜效果研究[J]. 食品科技,2010,35(6):70-73.
- [22] 闫师杰,梁丽雅,宋振梅,等. 臭氧水对鲢鱼肉保鲜效果的研究[J]. 食品科学,2010,31(24):465-468.
- [23] 刁石强,李来好,岑剑伟,等. 冰温臭氧水对鲢保鲜效果的研究[J]. 南方水产科学,2011,7(3):8-13.
- [24] 施建兵,谢晶,高志立,等. 臭氧水浸渍后冰温贮藏提高鲳鱼块的保鲜品质[J]. 农业工程学报,2013,29(6):274-279.
- [25] COLL CÁRDENAS F, ANDRÉS S, GIANNUZZI L, et al. Antimicrobial action and effects on beef quality attributes of a gaseous ozone treatment at refrigeration temperatures [J]. Food Control,2011,22(8):1442-1447.
- [26] NOVAK J S, YUAN J T C. The fate of Clostridium perfringens spores exposed to ozone and/or mild heat pretreatment on beef surfaces followed by modified atmosphere packaging [J]. Food Microbiology,2004,21(6):667-673.

比较每个因素指标平均值的大小顺序得到的水平优势为 $A_3 > A_1 > A_2, B_3 > B_2 > B_1, C_2 > C_1 > C_3, D_1 > D_2 > D_3$ 。故确定最佳条件为 $A_3B_3C_2D_2$, 即加水量为 50%, 柱高 1.0 m, 回流比 3:1, 真空度为 -0.08 MPa。方差分析结果表明, $F_{0.05}(2,2) = 19.0; F_{0.01}(2,2) = 99.000$; 因素 A(加水量)、因素 B(柱高)和因素 C(回流比)各水平间差异有显著性意义 ($P < 0.05$); 因素 D(真空度)各水平间差异无显著性意义 ($P > 0.05$)。

表 2 $L_9(3^4)$ 正交试验数据处理结果

试验号	影响因素				无萘薄荷油收率/%
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	62.5
2	1	2	2	2	66.3
3	1	3	3	3	74.2
4	2	1	2	3	63.4
5	2	2	3	1	61.9
6	2	3	1	2	73.2
7	3	1	3	2	70.8
8	3	2	1	3	72.5
9	3	3	2	1	85.3
k_1	67.7	65.6	69.4	69.9	
k_2	66.2	66.9	71.7	70.1	
k_3	76.2	77.6	68.9	70.0	
R	10.0	12.0	2.8	0.2	

注: 因为因素 D 影响较小, 所以将 D 因素作为方差分析中的误差项来处理。

2.2 验证试验 对最佳工艺进行验证, 按所选的最佳提取工艺条件进行试验, 计算得无萘薄荷油的得率为 86%, 高于正交试验的各项结果, 证实该最佳工艺稳定、可行。

2.3 气相色谱验证 图 1~2 表明, 无萘薄荷油经过水共沸精馏去除了萘烯类低沸点成分, 各峰的分离度较好, 且之间无干扰。

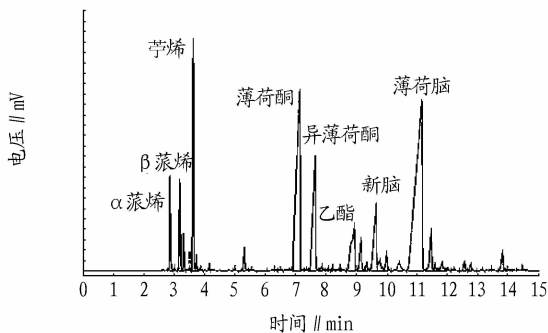


图 1 普通薄荷油

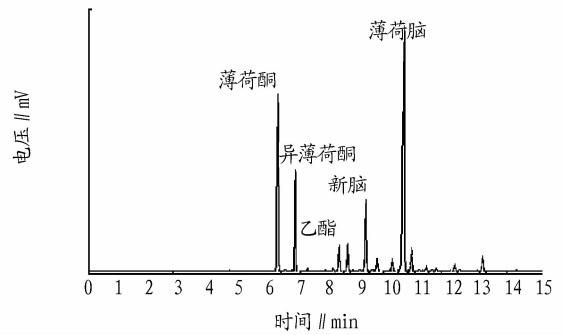


图 2 无萘薄荷油

2.4 香味对比评价^[8-9] 根据上述最佳试验条件制备无萘薄荷油, 由质量工程师孙清华进行香味评价, 认为无萘薄荷油的香气好于普通薄荷油(表 3)。

表 3 普通薄荷油与无萘薄荷油香气评价对比结果

名称	头香	体香	尾香
普通薄荷油	微刺鼻味	薄荷及薄荷酮味	淡薄荷味
无萘薄荷油	淡香甜味	薄荷及薄荷酮味	淡薄荷味

3 结论与讨论

从试验结果看, R 大的因素为主要因素, R 小的为次要因素, 因素的主次顺序为柱高 > 加水量 > 回流比 > 真空度。确定最佳工艺条件为: $A_3B_3C_2D_2$, 即加水量为 50%, 柱高 1.0 m, 回流比 3:1, 真空度为 -0.08 MPa。

试验采用水共沸精馏主要原因是: 过程温度低, 不破坏香气; 将前馏分蒎烯类成分与酮类成分分开, 不造成酮类成分的过多损失。试验过程中, 应采用磁力搅拌的方式, 使薄荷油与水共沸时不易产生暴沸现象, 便于后期试验的开展。

参考文献

- [1] 房海灵, 李维林, 任冰如, 等. 薄荷属植物的化学成分及药理学研究进展[J]. 药学专论, 2010, 19(10): 13-16.
- [2] 刘颖, 张援虎, 石任兵. 薄荷化学成分的研究[J]. 中国中药杂志, 2005, 30(14): 1086-1088.
- [3] 陆长根, 梁呈元, 李维林. 椒样薄荷挥发油化学成分分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(2): 400-425.
- [4] 崔艳芳, 洪礼乐, 任少伟, 等. 正交实验法优化超临界 CO₂ 萃取薄荷挥发油工艺条件的研究[J]. 安徽化工, 2013, 39(4): 36-38.
- [5] 陈秋娟, 罗杨合, 张志, 等. 微波辅助提取荸荠皮中多酚类物质的工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(24): 10144-10146.
- [6] 陈硕. 气相色谱法测定薄荷素油中薄荷脑、薄荷酮、薄荷脑乙酯、柠檬烯的含量[J]. 海峡药学, 2012, 24(12): 41-43.
- [7] 王成港, 王春龙, 刘衡, 等. 气相色谱法测定薄荷油中薄荷脑的含量[J]. 中草药, 2004, 35(11): 1252-1253.
- [8] 陈保, 姜东华, 罗发美, 等. 四种不同加工工艺紫娟茶香气成分的比较[J]. 现代食品科技, 2013, 29(10): 2480-2486.
- [9] 刘颖, 王能如, 黄义德, 等. 烘烤技术对烤后烟叶香味品质影响的研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(11): 2428-2430.

(上接第 13368 页)

- [27] JAKSCH D, MARGESIN R, SKALNY J D, et al. The effect of ozone treatment on the microbial contamination of pork meat measured by detecting the emissions using PTR-MS and by enumeration of microorganisms [J]. International Journal of Mass Spectrometry, 2004, 239(2/3): 209-214.
- [28] STIVARIUS M R, POHLMAN F W, MCELYEA K S, et al. Microbial, instrumental color and sensory color and odor characteristics of ground beef produced from beef trimmings treated with ozone or chlorine dioxide [J].

Meat Science, 2002, 60(3): 299-305.

- [29] 贾艳花, 张立彦, 芮汉明. 臭氧对鸡肉保鲜作用的研究[J]. 现代食品科技, 2012, 28(2): 135-138.
- [30] 肖岚, 李诚, 辛松林. 臭氧对冷却肉的保鲜效果[J]. 肉类工业, 2007(3): 3-5.
- [31] 杜艳, 李兴民, 梁锋, 等. 紫外照射和臭氧处理对新工艺火腿挥发性风味成分的影响研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(9): 101-103.