

8 种单烷基酚类食用香料抑菌稳定性的研究

孙洁雯, 韩 帅, 刘玉平*, 孙宝国
(北京工商大学轻工科学技术学院 北京 100048)

摘要 为了研究我国食品添加剂使用标准(GB 2760-2014)允许使用的 8 种单烷基酚类食用香料体外抑菌活性的稳定性,采用二倍稀释法考察 8 种单烷基酚类食用香料在温度(80,110,121 ℃)、pH 值(5-9)和紫外照射(20,40,60 min)3 个因素变化时对 4 种受试菌最小抑菌浓度的影响。结果表明:温度是影响单烷基酚类食用香料抑菌活性的重要因素之一,其中 2-乙基苯酚、4-乙基苯酚、2-丙基苯酚、2-异丙基苯酚具有良好的热稳定性,2 种乙基苯酚和 2 种丙基苯酚对 4 种供试菌的最小抑菌浓度范围分别是 0.195~0.781 mg/mL 和 0.098~0.391 mg/mL;紫外照射不同时间后抑菌活性较好的单烷基酚类食用香料主要有间甲酚、2-丙基苯酚、2-异丙基苯酚和 4-丙基苯酚,它们对 4 种供试菌的最小抑菌浓度范围分别是 0.781~1.563,0.098~0.391,0.195~0.391 mg/mL 和 0.195~0.391 mg/mL;当 pH 值大于或小于 7 时,大多数单烷基酚类食用香料的抑菌活性增加,对 4 种供试菌的最小抑菌浓度降低 1 倍。

关键词 单烷基酚类; 抑菌稳定性; 热处理; 紫外照射; pH 值

文章编号 1009-7848(2023)08-0067-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.08.008

食用香料作为现代加工食品香气的重要来源,可以满足人们对食品美味的要求。食用香料不仅可以为食品增香,还可以起到抗菌、抗氧化等效果。有的食用香料(如肉桂醛和肉桂酸)可以作为食品防腐剂,延长食品的保质期^[1]。作为防腐剂使用的天然香料有的提取得率较低,有的有机溶剂难以完全去除^[2],且天然香料的组成成分受到一些自然因素影响,使其应用受到一定限制。天然香料中真正起到防腐抑菌作用的往往是一些结构确定的香料化合物,近年来香料化合物的防腐抑菌作用也引起了研究人员的关注;如周倩倩等^[3]研究了 9 种异硫氰酸酯类香料化合物的抑菌作用,孙洁雯等^[4]研究了 30 种芳香醛类香料的防腐抑菌性能,魏丽娜等^[5]研究了食用香料二烯丙基二硫醚对致病菌毒力基因表达的影响;GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中规定了二苯醚和肉桂醛既可作为食品用香料也可用作防腐剂使用^[6]。

酚类化合物具有一定的防腐抑菌作用,而关于酚类香料的防腐抑菌作用研究主要集中在丁香酚^[7-9]、百里香酚和香芹酚^[10-13]等有限的几种中,如

国外学者研究了丁香酚对几种食品微生物和植物病原真菌均有不同程度的抑制作用^[14-16];Nostro 等^[17]综述香芹酚的抑菌活性,认为香芹酚具有广谱抗菌性,其对人、动植物和食品的致病菌均有一定程度的抑菌效果;Guarda 等^[18]将香芹酚和百里香酚加入生物膜的微胶囊涂层,考察它们的抑菌效果,发现其对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和酵母等 5 种微生物均有抑菌活性;胡艳芬等^[12]用稀释培养法对百里香酚和香芹酚的体外抑菌作用进行研究,结果发现二者对常见致病菌有明显的杀菌作用。GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中批准允许使用的酚类香料有 20 多种^[6]。为了了解我国允许使用的酚类香料的防腐抑菌活性,课题组前期对 23 种含有酚羟基的香料化合物的抑菌活性进行研究,结果表明单烷基取代的酚随着烷基碳链的延长抑菌活性有所增加^[19],而它们的抑菌稳定性尚未见文献报道。

在选择防腐剂时其抑菌稳定性是需要考虑的重要因素,在文献调研过程中发现关于抑菌稳定性的研究多集中在天然植物提取物上^[20-23],然而,有关系列合成香料的抑菌稳定性未见研究报道。为了确定单烷基酚类食用香料的抑菌稳定性,本研究考察温度、pH 值和紫外照射 3 个因素对 GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中列出的 8 种单烷基酚类食用香料抑菌作

收稿日期: 2022-08-06

基金项目: 北京市自然科学基金项目(6153021)

第一作者: 孙洁雯,女,硕士

通信作者: 刘玉平 E-mail: liuyup@th.btbu.edu.cn

用的影响,希望能为开发新型防腐剂提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

8种单烷基酚类食用香料【包括3个甲基酚(邻、间、对甲酚)、2个乙基酚(2-乙基苯酚和4-乙基苯酚)、3个丙基酚(2-丙基苯酚、2-异丙基苯酚、4-丙基苯酚)】,北京百灵威科技有限公司。试验前利用气-质联用仪对8种单烷基酚类食用香料的 结构进行了验证。

氯化钠,北京化工厂;1,2-丙二醇、柠檬酸(含有一个结晶水)、碳酸钾,国药集团化学试剂有限公司;营养肉汤培养基,北京澳博星生物技术有限公司。

1.2 供试菌种

4种供试菌种包括枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、铜绿假单胞菌(*Pseudomonas aeruginosa*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*),均购自中国科学院微生物所 的普通微生物菌种保藏中心。

1.3 仪器与设备

DL-CJ-1ND-II型无菌超净工作台,东联哈尔滨仪器制造有限公司;YX-280D型手提蒸汽压力灭菌锅,安徽合肥华泰医疗设备有限公司;Acura-825型移液枪,Socorex 科技有限公司;ZWY-100H型恒温摇床,上海智城分析仪器公司;752型紫外分光光度计,上海恒平科学仪器公司;PHSJ-5型pH测量仪,上海仪电分析仪器公司;T-403型电子分析天平,赛多力斯仪器有限公司。

1.4 方法

1.4.1 无菌盐水的制备和营养肉汤培养基配制 用电子分析天平称取17.0g氯化钠,然后加入去离子水至2000.0g,完全溶解后灭菌,得到质量浓度为0.85%的无菌盐水,待用。

用分析天平准确称取牛肉膏3.0g,蛋白胨10.0g,氯化钠5.0g,加去离子水混合,定容至1000mL,将pH值调节至7.2~7.4,在压力为0.1MPa、温度为121℃下加热灭菌20min,得到营养肉汤培养基备用。

1.4.2 菌悬液制备 首先吸取经过活化后的菌液,接入营养肉汤培养基中,置于恒温摇床中培养至对数期作为原菌液(通过测定生长曲线,最终确定每种供试菌种到对数期需要培养的时间是8~10h);然后吸取1mL原菌液,用无菌盐水进行倍比稀释,得到 $10^4\sim 10^5$ CFU/mL的菌悬液备用。

1.4.3 单烷基酚类食用香料溶液的制备 准确称取各种单烷基酚类食用香料1.0g,用丙二醇作溶剂,稀释成质量浓度为0.1g/mL的溶液,备用。

1.4.4 单烷基酚类食用香料最小抑菌浓度(MIC)的测定 采用倍比稀释法,测定试验所用8种单烷基酚的最小抑菌浓度(MIC)。取8支5mL试管,依次编号为1~8,在第2~8试管中加入营养肉汤培养基2mL,1号试管中加入营养肉汤培养基3.875mL。向1号管中加入0.1g/mL的单烷基酚溶液125 μ L(即12.5mg单烷基酚),混合均匀后取2mL加入2号试管中,使得2号试管中单烷基酚的质量浓度为1号试管的一半。按照同样的方法,对各试管依次进行二倍梯度稀释。单烷基酚类食用香料的最终质量浓度如表1所示。

表1 单烷基酚类食用香料培养基的配制

Table 1 Preparation of the medium with monoalkyl phenol flavor compounds

	试管号							
	1	2	3	4	5	6	7	8
最终质量浓度/mg·mL ⁻¹	3.125	1.563	0.781	0.391	0.195	0.098	0.049	0.025

向每个试管中加入稀释好的菌悬液20 μ L,同时做2个平行试验组和对照组(对照组只加入培养基、稀释烷基酚所用丙二醇和菌液)。在37℃下于摇床中培养24h,定期观察培养基。如培养基变浑浊,说明此质量浓度的单烷基酚无法抑制供试菌生长;临界质量浓度的透明试管,采用营养平

板进行涂布检验。将能够抑制菌落生长所需单烷基酚的最低质量浓度定义为其最小抑菌浓度(MIC)。

1.4.5 单烷基酚类食用香料抑菌作用稳定性的研究

1.4.5.1 温度对单烷基酚类食用香料抑菌活性的影响 试验中考查热处理对于单烷基酚类食用香

料抑菌活性的影响。将 8 种单烷基酚溶液先分别置于 80, 110 °C 和 121 °C 下受热 20 min, 将未经过加热处理的溶液作为对照组, 然后按照 1.4.4 节的方法对它们的最小抑菌浓度进行测定, 进而确定温度对单烷基酚类食用香料抑菌活性的影响。

1.4.5.2 紫外照射对单烷基酚类食用香料抑菌活性的影响 将 8 种单烷基酚溶液置于紫外灯下, 照射时间分别是 20, 40 min 和 60 min, 将未经处理的溶液作为对照组, 按照 1.4.4 节的方法对它们的最小抑菌浓度进行测定, 进而确定紫外照射对单烷基酚类食用香料抑菌活性的影响。

1.4.5.3 pH 值对酚类食用香料抑菌活性的影响

为了确定供试菌正常生长环境的 pH 值范围, 分别配制 1 mol/L 的碳酸钾溶液和柠檬酸溶液, 并用其调制 pH 值为 3.0~13.0 的系列营养肉汤培养

基, 接种制备好的菌悬液, 37 °C 条件下振荡培养 24 h, 观察供试菌的生长情况, 以供试菌能正常生长为标准选定适宜试验的培养基 pH 范围。根据确定的适宜 pH 值范围, 用 1 mol/L 碳酸钾溶液和柠檬酸溶液调节培养基的 pH 值, 将没有调节 pH 值的培养基作为试验对照组, 按照 1.4.4 节的方法对它们的最小抑菌浓度进行测定, 进而确定 pH 值对单烷基酚类食用香料抑菌活性的影响。

2 结果与分析

2.1 单烷基酚类食用香料的 MIC

采用二倍稀释法测定了 8 种单烷基酚对种供试菌的 MIC, 所得结果如表 2 所示, 数值越小说明该香料的抑菌效果越好。

表 2 单烷基酚类食用香料的最小抑菌浓度 MIC(mg/mL)

Table 2 Minimal inhibitory concentration MIC (mg/mL) of monoalkyl phenol flavor compounds

单烷基酚类食用香料	大肠杆菌	铜绿假单胞菌	枯草芽孢杆菌	金黄色葡萄球菌
邻甲酚	0.781	0.781	0.781	0.781
间甲酚	0.781	1.563	1.563	0.781
对甲酚	0.391	1.563	0.781	1.563
2-乙基苯酚	0.391	0.781	0.391	0.781
4-乙基苯酚	0.391	0.781	0.391	0.195
2-丙基苯酚	0.195	0.391	0.195	0.098
2-异丙基苯酚	0.195	0.391	0.195	0.391
4-丙基苯酚	0.195	0.195	0.195	0.391

从试验所得结果可知, 丙基酚的效果要好于乙基酚的效果, 乙基酚的效果要好于甲基酚的效果。

2.2 温度对单烷基酚类食用香料抑菌活性的影响

将 8 种受试单烷基酚类食用香料药液分别置于 80, 110 °C 和 121 °C 下热处理 20 min, 采用二倍稀释法对供试菌 MIC 进行测定, 结果见表 3。

从所得结果可以看出, 热处理对 8 种单烷基酚类香料抑菌活性影响不同, 有的没有变化, 有的有所减弱。

间甲酚、2-乙基苯酚、4-乙基苯酚、2-丙基苯酚、2-异丙基苯酚在 80, 110 °C 和 121 °C 处理前、后对大肠杆菌的抑菌作用没有变化, 说明在所考察温度下它们的抑菌活性稳定。邻甲酚、对甲酚、

4-丙基苯酚经热处理后对大肠杆菌的抑菌作用相较于对照组略有减弱, 而 3 种温度下处理后的 MIC 值无明显变化, 说明热处理虽对其抑菌活性有所影响, 但在所选 3 个温度对其抑菌活性的影响不大。

8 种单烷基酚类食用香料中, 除邻甲酚外, 在考察的温度下另外 7 种酚类香料对铜绿假单胞菌的抑菌效果都稳定, 其中 4-丙基苯酚的抑菌活性最强, MIC 值为 0.195 mg/mL; 其次为 2-丙基苯酚和 2-异丙基苯酚, MIC 值均为 0.391 mg/mL; 间甲酚和对甲酚的抑菌活性较弱, MIC 为 1.563 mg/mL。

邻甲酚、间甲酚、对甲酚经热处理后对枯草芽孢杆菌的抑菌活性明显削弱, 且本身对供试菌的抑菌作用较弱, MIC 分别为 1.563, 3.125, 1.563

表3 不同温度处理的单烷基酚类食用香料 MIC

Table 3 MIC of monoalkyl phenol flavor compounds after the treatment at different temperature

供试菌	温度/℃	单烷基酚类食用香料/mg·mL ⁻¹							
		邻甲酚	间甲酚	对甲酚	2-乙基苯酚	4-乙基苯酚	2-丙基苯酚	2-异丙基苯酚	4-丙基苯酚
大肠杆菌	80	1.563	0.781	0.781	0.391	0.391	0.195	0.195	0.391
	110	1.563	0.781	0.781	0.391	0.391	0.195	0.195	0.391
	121	1.563	0.781	0.781	0.391	0.391	0.195	0.195	0.391
	对照	0.781	0.781	0.391	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
铜绿假单胞菌	80	1.563	1.563	1.563	0.781	0.781	0.391	0.391	0.195
	110	1.563	1.563	1.563	0.781	0.781	0.391	0.391	0.195
	121	1.563	1.563	1.563	0.781	0.781	0.391	0.391	0.195
	对照	0.781	1.563	1.563	0.781	0.781	0.391	0.391	0.195
枯草芽孢杆菌	80	1.563	3.125	1.563	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	110	1.563	3.125	1.563	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	121	1.563	3.125	1.563	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	对照	0.781	1.563	0.781	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
金黄色葡萄球菌	80	1.563	1.563	1.563	0.781	0.195	0.098	0.391	0.391
	110	1.563	1.563	1.563	0.781	0.195	0.098	0.391	0.391
	121	1.563	1.563	1.563	0.781	0.195	0.098	0.391	0.391
	对照	0.781	0.781	1.563	0.781	0.195	0.098	0.391	0.391

mg/mL,其它单烷基酚类食用香料热处理后对枯草芽孢杆菌的抑菌活性无变化且抑菌效果较好。

对于金黄色葡萄球菌来说,除邻甲酚和间甲酚外,在考察的温度下另外6种酚类香料的抑菌效果都稳定;其中在8种香料中抑菌效果最好的是2-丙基苯酚,MIC值为0.098 mg/mL;抑菌效果最差的是3种甲酚,MIC均为1.563 mg/mL。

总体来看,2-乙基苯酚、4-乙基苯酚、2-丙基苯酚、2-异丙基苯酚抑菌效果较好,且在考察的温度下热稳定性较好。

2.3 紫外照射对单烷基酚类食用香料抑菌活性的影响

紫外线照射20,40,60 min后酚类食用香料对供试菌MIC的测定结果如表4所示。

从所得结果可以看出,与对照组的抑菌效果相比经紫外线照射不同时间后,单烷基酚类食用香料的抑菌效果变化不大;其中紫外照射后对甲酚、2-乙基苯酚对大肠杆菌的抑菌作用有所减弱,邻甲酚对铜绿假单胞菌的抑制效果减弱,邻甲酚和4-乙基苯酚对金黄色葡萄球菌的抑菌作用减弱,而在考察的3个照射时间内它们的MIC相同。值得一提的是8种单烷基酚类香料经紫外照

射以后,它们对枯草芽孢杆菌的抑制作用没有变化。导致这种结果的原因可能与两方面的因素有关,一是与供试菌自身的结构有一定的关系,虽然4种供试菌中革兰氏阳性菌和阴性菌各2种,但是它们的结构还是存在着一些差别;另一方面这些酚类香料结构中含有苯环,经过紫外照射后它们结构可能发生细微的变化,这种细微变化虽然通过仪器分析没有检测到,但是这种变化会影响它们与供试菌间的相互作用^[24]。

2.4 pH值对单烷基酚类食用香料抑菌活性的影响

2.4.1 供试菌正常生长环境pH值范围的确定

表5列出了4种供试菌在pH值为3.0~13.0的培养基中的生长情况,从中可以看出4种供试菌在pH值为5.0~9.0范围内的培养基中可以正常生长,且pH值为7.0的培养基中生长情况最好,可观察到大量菌体生长,而随着pH值的增大或减小,供试菌的生长均随之下降。因此,选取pH值为5.0,6.0,7.0,8.0和9.0 5个细菌可正常生长的pH值梯度研究其对单烷基酚类食用香料抑菌活性的影响。

表 4 紫外线照射处理的单烷基酚类食用香料 MIC(mg/mL)

Table 4 MIC (mg/mL) of monoalkyl phenol flavor compounds after ultraviolet radiation

供试菌	时间/min	酚类食用香料/mg·mL ⁻¹							
		邻甲酚	间甲酚	对甲酚	2-乙基苯酚	4-乙基苯酚	2-丙基苯酚	2-异丙基苯酚	4-丙基苯酚
大肠杆菌	20	0.781	0.781	0.781	0.781	0.391	0.195	0.195	0.195
	40	0.781	0.781	0.781	0.781	0.391	0.195	0.195	0.195
	60	0.781	0.781	0.781	0.781	0.391	0.195	0.195	0.195
	对照	0.781	0.781	0.391	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
铜绿假单胞菌	20	1.563	1.563	1.563	0.781	0.781	0.391	0.391	0.195
	40	1.563	1.563	1.563	0.781	0.781	0.391	0.391	0.195
	60	1.563	1.563	1.563	0.781	0.781	0.391	0.391	0.195
	对照	0.781	1.563	1.563	0.781	0.781	0.391	0.391	0.195
枯草芽孢杆菌	20	0.781	1.563	0.781	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	40	0.781	1.563	0.781	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	60	0.781	1.563	0.781	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	对照	0.781	1.563	0.781	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
金黄色葡萄球菌	20	1.563	0.781	1.563	0.781	0.391	0.098	0.391	0.391
	40	1.563	0.781	1.563	0.781	0.391	0.098	0.391	0.391
	60	1.563	0.781	1.563	0.781	0.391	0.098	0.391	0.391
	对照	0.781	0.781	1.563	0.781	0.195	0.098	0.391	0.391

表 5 不同 pH 值下供试菌的生长情况

Table 5 The growth situation of test bacteria at different pH value

供试菌	培养基 pH 值										
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
大肠杆菌	-	-	+	+	++	+	+	-	-	-	-
铜绿假单胞菌	-	-	+	+	++	+	+	-	-	-	-
枯草芽孢杆菌	-	-	+	+	++	+	+	-	-	-	-
金黄色葡萄球菌	-	-	+	+	++	+	+	-	-	-	-

注:“-”表示无菌生长;“+”表示少量细菌生长;“++”表示细菌大量生长。

2.4.2 pH 值对单烷基酚类食用香料抑菌活性的影响 表 6 列出了 pH 值为 5.0,6.0,7.0,8.0 和 9.0 时单烷基酚类食用香料对 4 种供试菌的 MIC, 而正常条件下未经酸碱调节的培养基 pH 值为 7.0,故将其设为对照组。

从所得结果可以看出,在不同的 pH 值下 8 种单烷基酚类食用香料对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的防腐抑菌效果比较稳定,随着 pH 值偏离中性,抑菌活性虽有小的变化,但 MIC 的变化都在一倍之内,这与酸性或碱性较强的环境中不利于微生物繁殖有关。

随着 pH 值的变化,间甲酚和对甲酚对铜绿

假单胞菌和枯草芽孢杆菌的抑制作用变化较大,其中间甲酚在 pH 值为 5 和 9 时其 MIC 为 0.391 mg/mL,而在 pH 值为 7 时其 MIC 为 1.563 mg/mL,相差 3 倍;对甲酚在 pH 值为 9 时其 MIC 为 0.195 mg/mL,而在 pH 值为 7 时其 MIC 为 0.781 mg/mL,也相差 3 倍;另外 6 种单烷基酚随着 pH 值的变化,对铜绿假单胞菌和枯草芽孢杆菌的抑制作用较稳定。

对比 8 种单烷基酚类食用香料在 pH 值为 5, 6,7,8 和 9 的条件下对 4 种供试菌的抑菌稳定,抑菌稳定性较好的是 4-乙基苯酚、2-丙基苯酚、2-异丙基苯酚和 4-丙基苯酚,且它们对 4 种供试

表6 不同pH值下单烷基酚类食用香料的MIC(mg/mL)
Table 6 MIC (mg/mL) of monoalkyl phenol flavor compounds at different pH value

供试菌	pH 值	酚类食用香料/mg·mL ⁻¹							
		邻甲酚	间甲酚	对甲酚	2-乙基苯酚	4-乙基苯酚	2-丙基苯酚	2-异丙基苯酚	4-丙基苯酚
大肠杆菌	5	0.391	0.781	0.195	0.391	0.391	0.195	0.098	0.195
	6	0.391	0.781	0.391	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	7	0.781	0.781	0.391	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	8	0.391	0.781	0.391	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	9	0.391	0.391	0.195	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
铜绿假单胞菌	5	0.391	0.391	0.391	0.391	0.391	0.098	0.195	0.098
	6	0.781	0.781	0.391	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	7	0.781	1.563	0.781	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	8	0.391	0.781	0.391	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	9	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195	0.098	0.098	0.098
枯草芽孢杆菌	5	0.391	0.391	0.391	0.391	0.391	0.098	0.195	0.098
	6	0.781	0.781	0.391	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	7	0.781	1.563	0.781	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	8	0.391	0.781	0.391	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195
	9	0.391	0.391	0.195	0.195	0.195	0.098	0.195	0.195
金黄色葡萄球菌	5	0.391	0.391	0.781	0.391	0.195	0.098	0.391	0.195
	6	0.781	0.781	1.563	0.781	0.195	0.098	0.391	0.391
	7	0.781	0.781	1.563	0.781	0.195	0.098	0.391	0.391
	8	0.781	0.781	1.563	0.781	0.195	0.098	0.391	0.391
	9	0.781	0.781	0.781	0.391	0.195	0.098	0.195	0.195

菌的最小抑菌浓度较低,为0.098~0.391 mg/mL。

3 结论

1) 本文研究了8种单烷基酚类食用香料对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、铜绿假单胞菌和金黄色葡萄球菌4种供试菌的抑制活性和抑菌稳定性,在80,110℃和121℃下受热20 min后,2-乙基苯酚、4-乙基苯酚、2-丙基苯酚和2-异丙基苯酚对4种供试菌的最小抑菌浓度保持不变,受热处理后表现出很好的抑菌稳定性。

2) 8种单烷基酚类食用香料经过紫外线照射20,40 min和60 min后,间甲酚、2-丙基苯酚、2-异丙基苯酚和4-丙基苯酚对4种供试菌的最小抑菌浓度保持不变,经紫外照射后仍表现出较好的抑菌稳定性。

3) 在pH值偏离中性时,偏酸或偏碱条件下

8种单烷基酚类食用香料对4种供试菌的最小抑菌浓度保持不变或降低,其中随着pH值的变化间甲酚和对甲酚对铜绿假单胞菌和枯草芽孢杆菌的最小抑菌浓度变化较大,抑菌稳定性不好。

4) 从所得结果可以看,在考察的3种因素中,温度对单烷基酚类食用香料的抑菌稳定性影响较大,其次是紫外照射;偏酸或偏碱时,可增加单烷基酚类食用香料的防腐抑菌效果。

参 考 文 献

- [1] 朱燕莉,王正莉,王卫,等.天然食品防腐剂的抑菌机理研究进展[J].中国调味品,2021,46(9):176-180.
ZHU Y L, WANG Z L, WANG W, et al. Research progress on antibacterial mechanism of natural food preservatives [J]. China Condiment, 2021,

- 46(9): 176-180.
- [2] 祝媛, 吴香, 李超, 等. 天然防腐剂在肉制品中的应用[J]. 肉类工业, 2020, 36(7): 48-54.
ZHU Y, WU X, LI C, et al. Application of natural preservatives in meat products[J]. Meat Industry, 2020, 36(7): 48-54.
- [3] 周倩倩, 王岩, 万锈琳, 等. 异硫氰酸酯类香料对两种革兰氏阴性致病菌的抑制作用[J]. 中国食品学报, 2019, 19(1): 255-261.
ZHOU Q Q, WANG Y, WAN X L, et al. Inhibitory effect of isothiocyanate flavors on two gram-negative pathogenic bacteria[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(1): 255-261.
- [4] 孙洁雯, 高婷婷, 李燕敏, 等. 食用芳香醛类香料的防腐抑菌性能[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 57-62.
SUN J W, GAO T T, LI Y M, et al. Research on the antibacterial activity of aromatic aldehyde flavor compounds against four kinds of bacteria[J]. Food and Fermentation Industry, 2015, 41(9): 57-62.
- [5] 魏丽娜, 吴虹燕, 李鑫鑫, 等. 二烯丙基二硫醚对单增李斯特菌毒力基因表达的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(1): 83-90.
WEI L N, WU H Y, LI X X, et al. The effect of diallyl disulfide on the expression of virulence gene in *Listeria monocytogenes* [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(1): 83-90.
- [6] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准: GB 2760-2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
The National Health and Family Planning Commission. National food safety standard for uses of food additives: GB 2760-2014 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [7] 曾荣, 陈金印, 林丽超. 丁香精油及丁香酚对食品腐败菌的抑菌活性研究[J]. 江西农业大学学报, 2013, 35(4): 852-857.
ZENG R, CHEN J Y, LIN L C. Antimicrobial activity of clove essential oils and eugenol against food-borne bacteria[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2013, 35(4): 852-857.
- [8] MICHELS J, MISSOTTEN J, FREMAUT D, et al. *In vitro* dose response of carvacrol, thymol, eugenol and trans cinnamom aldehyde and interaction of combinations for the antimicrobial activity against the pig gut flora[J]. Livestock Science, 2007, 109(1/2/3): 157-160.
- [9] OXENHAM S K, SVOBODA K P, WALTERS D R. Eugenol reduces growth and increases activity of S-adenosylmethionine decarboxylase in the phytopathogenic fungus *Botrytis fabae*[J]. Phytoparasitica, 2005, 33(3): 247-252.
- [10] FRIEDMAN M, HENIKA P R, MANDRELL R E. Antibacterial activities of phenolic benzaldehydes and benzoic acids against *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica*[J]. Journal of Food Protection, 2003, 66(10): 1811-1821.
- [11] CAI R, ZHANG M Q, CUI L, et al. Antibacterial activity and mechanism of thymol against *Alicyclobacillus acidoterrestris* vegetative cells and spores [J]. LWT—Food Science and Technology, 2019, 105: 377-384.
- [12] 胡艳芬, 江文斌, 蒋琳琳, 等. 高百里香酚和香芹酚体外抑菌作用的研究[J]. 畜牧兽医科技信息, 2010, 10(10): 107.
HU Y F, JIANG W B, JIANG L L, et al. Study on the antibacterial effect of thymol and carvacrol *in vitro*[J]. Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2010, 10(10): 107.
- [13] 张静, 冯岗, 袁旭超, 等. 百里香酚抑菌活性初探[J]. 中国农学通报, 2009, 25(21): 277-280.
ZHANG J, FENG G, YUAN X C, et al. Study on antibacterial activity of thymol[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(21): 277-280.
- [14] GILL A O, HOLLEY R A. Mechanisms of bactericidal action of cinnamaldehyde against *Listeria monocytogenes* and of eugenol against *L. monocytogenes* and *Lactobacillus sakei*[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2004, 70(10): 5750-5755.
- [15] BENNIS S, CHAMI F, CHAMI N, et al. Surface alteration of *Saccharomyces cerevisiae* induced by thymol and eugenol[J]. Letters in Applied Microbiology, 2004, 38(6): 454-458.
- [16] WANG S Y, CHEN P F, CHANG S T. Antifungal activities of essential oils and their constituents from indigenous cinnamon (*Cinnamomum osmophloeum*) leaves against wood decay fungi [J]. Bioresource Technology, 2005, 96(7): 813-818.
- [17] NOSTRO A, PAPALIA T. Antimicrobial activity of

- carvacrol: Current progress and future prospectives [J]. *Recent Patents on Anti-infective Drug Discovery*, 2012, 7(1): 28-35.
- [18] GUARDA A, RUBILAR J F, MILTZ J, et al. The antimicrobial activity of microencapsulated thymol and carvacrol[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2011, 146(2): 144-150.
- [19] 孙洁雯, 韩帅, 刘玉平, 等. 食用酚类香料的抑菌活性研究[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(12): 243-250.
- SUN J W, HAN S, LIU Y P, et al. Research on the antibacterial activity of phenol flavor compounds [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(12): 243-250.
- [20] PANTHONG S, SAKPAKDEEJAROEN I, KUROP-AKORN PONG P, et al. Antibacterial activity and stability evaluation of 'apo-taat' remedy extract for inhibiting diarrhea-causing bacteria[J]. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 2020, 4(12): 1101-1107.
- [21] 孙长花, 丁娟芳, 王君, 等. 迷迭香提取液的抑菌作用及稳定性研究[J]. *中国调味品*, 2020, 45(11): 42-45.
- SUN C H, DING J F, WANG J, et al. Study on antibacterial effect and stability of rosemary extract [J]. *China Condiment*, 2020, 45(11): 42-45.
- [22] 孙长花, 于智勇, 丁娟芳, 等. 丁香提取物抑菌作用及稳定性研究[J]. *生物学杂志*, 2021, 38(1): 61-65.
- SUN C H, YU Z Y, DING J F, et al. Study on bacteriostasis and stability of clove extract[J]. *Journal of Biology*, 2021, 38(1): 61-65.
- [23] 成少宁, 董文宾, 蔺毅峰, 等. 桑叶活性成分的抑菌作用及稳定性研究[J]. *中国酿造*, 2021, 40(2): 140-143.
- CHENG S N, DONG W B, LIN Y F, et al. Antibacterial effect and stability of active components from mulberry leaf[J]. *China Brewing*, 2021, 40(2): 140-143.
- [24] DAVIDSON P M, PARISH M E. Methods for testing the efficacy of food antimicrobials[J]. *Food Technology*, 1989, 43(1): 148-155.

Studies on the Stability of Antibacterial of Eight Monoalkyl Phenol Flavorants

Sun Jiewen, Han Shuai, Liu Yuping*, Sun Baoguo

(School of Light Industry, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

Abstract The purpose of the present study was to investigate the antibacterial stability of eight monoalkyl phenol flavorants, which were listed in the positive list of Chinese food additive use standard (GB 2760-2014), against four food-related microorganisms. Influences of temperature, ultraviolet radiation and pH value on antimicrobial stability of eight monoalkyl phenol flavorants were investigated by double dilution method. The results indicated that 2-ethylphenol, 4-ethylphenol, 2-isopropylphenol and 2-propylphenol among the eight monoalkyl phenols had better antibacterial stabilities after they were heated for 20 min under 80, 110, 121 °C, respectively; minimal inhibitory concentration (MIC) ranges of two ethylphenols and two propylphenols to four test bacterium were 0.195-0.781 mg/mL and 0.098-0.391 mg/mL. m-Cresol, 2-propylphenol, 2-isopropylphenol and 4-propylphenol showed better inhibitory stability after ultraviolet irradiation for 20, 40, 60 min, and their MIC ranges to four test bacterium were 0.781-1.563 mg/mL, 0.098-0.391 mg/mL, 0.195-0.391 mg/mL and 0.195-0.391 mg/mL, respectively. When the pH value deviate from 7, the antibacterial activities of most of the eight phenols increased, and their MICs to four test bacterium reduced to half of the original values.

Keywords monoalkyl phenol; antibacterial stability; heat treatment; ultraviolet irradiation; pH value