

# 相同加工原料下六大茶类抑菌效果比较

## Comparison on anti-microbial activities of six kinds of teas processed by the same raw materials

彭影琦<sup>1</sup> 龙军<sup>2</sup> 林玲<sup>1</sup> 龚志华<sup>1</sup>

PENG Ying-qi<sup>1</sup> LONG Jun<sup>2</sup> LIN Ling<sup>1</sup> GONG Zhi-hua<sup>1</sup>

袁冬寅<sup>1</sup> 周阳<sup>1</sup> 肖文军<sup>1,3</sup>

YUAN Dong-yin<sup>1</sup> ZHOU Yang<sup>1</sup> XIAO Wen-jun<sup>1,3</sup>

(1. 湖南农业大学茶学教育部重点实验室, 湖南长沙 410128; 2. 常德市柳叶湖旅游度假区七里桥街道办事处, 湖南常德 415000; 3. 湖南省植物功能成分利用协同创新中心, 湖南长沙 410128)

(1. Key Lab of Tea Science of Ministry of Education, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Qi-li Bridge Street Office of Liu-ye Lake Tourist Resort, Changde, Hunan 415000, China; 3. Hunan Collaborative Innovation Center for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Changsha, Hunan 410128, China)

**摘要:**为探讨相同加工原料下六大茶类的抑菌效果,以春季碧香早的1芽2叶茶鲜叶为原料,将其固定及分别加工成绿、黄、黑、白、青、红六大茶类,采用牛津杯法比较研究7个样品对金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、大肠杆菌(*Escherichia coli*)3种细菌以及黑曲霉(*Aspergillus niger*)、啤酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)2种真菌的抑菌活性,并利用96孔细胞板及二倍稀释法检测7个样品的最低抑菌浓度(MIC)与最低杀菌浓度(MBC)。结果表明:7个样品对3种细菌均有抑制作用,对2种真菌的抑制效果不明显;7个样品对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌的抑菌圈大小均呈现出固定样>绿茶>黄茶>黑茶>白茶>红茶的特性,最低抑菌浓度呈现出红茶>白茶>黑茶、黄茶、固定样、绿茶的特性,最低杀菌浓度均呈现出红茶>白茶、黑茶、黄茶>固定样、绿茶的特性;绿茶和其他茶类之间、红茶和其他茶类之间的抑菌效果有显著性差异( $P<0.05$ )。

**关键词:**茶叶;抑菌活性;六大茶类;最低抑菌浓度;最低杀菌浓度

**Abstract:** In order to study the anti-microbial effect of the six kinds of tea under the same processing raw materials, the spring tea fresh leaves of *C. sinensis* cv. Bixiangzao were processed into fixation of

fresh leaves, green, yellow, dark, white, oolong, and black tea. The anti-microbial activity against *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Escherichia coli* (*B. subtilis*), *Escherichia coli* (*E. coli*), *Aspergillus niger*, (*A. niger*), *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) of 7 samples were determined by the Oxford cup method. The Minimum inhibitory concentration (MIC) and Minimum bactericidal concentration (MBC) of 7 samples were determined by the method of two times dilution using the microplate of the 96 hole. Experimental results showed that 7 samples had inhibition effect of bacteria and had no obvious effect of *A. niger* and *S. cerevisiae*. The antibacterial circle size of 7 samples of *S. aureus*, *B. subtilis*, and *E. coli* showed that the trend of antimicrobial activity was: fixation of fresh leaves>green>yellow>dark>white>oolong>black tea. The MIC showed that the trend of antimicrobial concentration was: black tea>oolong, white tea>dark, yellow, green tea, fixation of leaves. The MBC showed that the trend of antimicrobial concentration was: black tea>oolong, white, dark, yellow tea>green tea, fixation of leaves. The antimicrobial activity of green tea and black tea was significantly different from other teas ( $P<0.05$ ).

**Keywords:** tea; anti-microbial activities; six kind of teas; minimum inhibitory concentration; minimum bactericidal concentration

按照初制加工工艺、品质特征及加工过程中儿茶素氧化程度等,中国茶叶分为绿、黄、黑、白、青、红茶六大类<sup>[1]</sup>。茶叶内含茶多酚、茶多糖、茶色素、茶氨酸等多种活性物质,具有良好的辅助抗肿瘤、抗氧化、改善心血管疾病、免疫调节、抑菌等功能<sup>[2]</sup>。任蕾等<sup>[3]</sup>研究表明茶叶对口腔致病菌有良好的抑制作用;傅冬和<sup>[4]</sup>研究不同年份茯茶的抑菌效果,发现

基金项目:湖南省科技厅重点研发计划(编号:2016NK2102)

作者简介:彭影琦,女,湖南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:肖文军(1969—),男,湖南农业大学教授,博导。

E-mail: xiaowenjun88@sina.com

收稿日期:2017-05-02

贮藏年份越久抑菌效果越差;薛晨<sup>[5]</sup>分析了不同级别原料下普洱茶的抑菌效果,发现抑制结果与茶多酚、水浸出物含量呈负相关;据报道,茶叶中的次生代谢物质在体外表现出良好的抑菌效果。王静等<sup>[6]</sup>研究发现没食子儿茶素没食子酸酯及其氧化产物对细菌抑制效果良好,对黑曲霉、酵母菌的抑制效果不明显;张华艳等<sup>[7]</sup>报道了咖啡碱对茶树感染的真菌具有一定抑制作用;金恩慧等<sup>[8]</sup>报道了茶黄素具有抑菌广谱性。由于茶鲜叶原料级别、加工工艺、生产季节、生产管理技术等不同,造成茶产品中品质成分含量存在差异<sup>[5,9-10]</sup>,进而导致其抑菌效果存在差异,但从已有文献来看,多从不同的细菌种类、茶叶年份、茶类来判断茶叶抑菌差异,鲜见相同加工原料下六大茶类的抑菌效果比较研究。为此,本研究用相同的原料分别加工成绿、黄、黑、白、青、红六大茶类,排除品种、季节、嫩度等因素,比较研究经不同加工工艺后茶叶对革兰氏阳性细菌(金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌)、革兰氏阴性细菌(大肠杆菌)及2种真菌(黑曲霉、啤酒酵母)的抑制作用,以期茶叶新产品开发及健康消费提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料与试剂

鲜茶叶:碧香早,湖南农业大学长安教学基地;

细菌培养使用LB培养基、酵母菌使用马铃薯蔗糖培养基、霉菌使用马铃薯葡萄糖培养基;国药集团化学试验有限公司;

琼脂粉、酵母提取物、氯化钠、胰蛋白酶、葡萄糖、蔗糖:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

福林酚:分析纯,美国 Tedia 公司;

乙腈、甲醇:色谱纯,美国 Tedia 公司;

表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)、没食子儿茶素没食子酸酯(gallocatechin gallate, GCG)、表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)、表儿茶素(epecatechin, EC)、没食子儿茶素(gallocatechin, GC)和表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、咖啡碱(caffeine, CA):标准品,峰面积归一化法下纯度>98%,上海同田生物技术有限公司;

大肠杆菌 ATCC 25922(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌 ATCC 25923(*Staphylococcus aureus*)、枯草芽孢杆菌 ATCC6633(*Bacillus subtilis*)、啤酒酵母 CICC31105(*Saccharomyces cerevisiae*)、黑曲霉 CICC2039(*Aspergillus niger*):湖南农业大学微生物教研室提供。

#### 1.1.2 仪器设备

烘焙机:6CHP-941型,浙江上洋机械股份有限公司;

茶叶揉捻机:40型,浙江上洋机械股份有限公司;

超净工作台:VD-650型,苏州净化设备有限公司;

生化培养箱:SPX-250BS-11型,上海新苗医疗器械制造有限公司;

恒温培养振荡器:ZHWHY-C2101型,上海智城分析仪器制造有限公司;

高压灭菌锅:LMQ.J3870C型,山东新华医疗器械股份有限公司;

旋转蒸发器:SY-2000型,上海亚荣生化仪器厂;

游标卡尺:0~200 mm,上海量具刀具厂;

高效液相色谱仪:LC-20A型,日本岛津公司。

### 1.2 方 法

1.2.1 茶样制备 采摘春季碧香早品种1芽2叶茶鲜叶,分别进行固样与茶样加工。每种茶样平行制作3份。

(1) 固定样:采用蒸汽固样法<sup>[11]</sup>。

(2) 绿茶:采用“杀青(250℃)→揉捻(25 min)→烘二青(120℃)→炒三青(90℃)→足干(60℃)”工序<sup>[12]50</sup>。

(3) 黄茶:采用“杀青(250℃)→趁热闷黄→揉捻(25 min)→初烘(120℃)→足干(60℃)”工序<sup>[12]186-187</sup>。

(4) 黑茶:采用“杀青(250℃)→初揉(25 min)→渥堆(33 h)→复揉(25 min)→足干(60℃)”工序<sup>[12]116</sup>。

(5) 白茶:采用“萎凋(48 h)→干燥(45℃)”工序<sup>[12]204-207</sup>。

(6) 青茶(乌龙茶):采用闽南乌龙茶加工的工艺,即“晒青(20 min)→做青(摇青—凉青,5次)→杀青(250℃)→初烘(120℃)→揉捻(30 min)→复烘(80℃)→足干(70℃)”工序<sup>[12]171-175</sup>。

(7) 红茶:采用工夫红茶加工的工艺,即“萎凋(5 h)→揉捻(40 min)→发酵(30℃,3 h)→足干(85℃)”工序<sup>[12]89-100</sup>。

#### 1.2.2 生化成分检测

(1) 水分含量:按 GB/T 8304—2013 执行。

(2) 水浸出物含量:按 GB/T 8305—2013 执行。

(3) 茶多酚含量:按 GB/T 8304—2013 执行。

(4) 儿茶素组含量、咖啡碱含量:参照文献<sup>[13]</sup>。

(5) 可溶性碳水化合物:采用蒽酮比色法<sup>[14]</sup>。

1.2.3 茶汤提取 参照 GB/T 8303—2002 的方法提取,取3 g茶用450 mL沸水在100℃水浴锅中浸提45 min,期间每隔10 min摇一次,过滤、洗涤残渣后冷却,滤液于500 mL容量瓶定容至刻度线。利用旋转蒸发器将茶汤真空浓缩(55℃,真空度0.9 MPa)至25 mL,茶汤浓度为120 mg/mL。在无菌环境下利用除菌过滤器过滤。

1.2.4 菌种活化与菌悬液制备 将菌株接种于相应的液体培养基中恒温摇床培养,活化菌株。大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌于37℃培养18~24 h,黑曲霉、啤酒酵母于28℃培养44~48 h。将活化好的菌株在固体培养基上分离得到单个菌株。重复一次,得到的菌株于4℃冰箱保存。挑取单菌株于液体培养基中震荡培养,参照上述不同菌类的培养时间,制成菌悬液,并调整到浓度 $1 \times 10^7$  CFU/mL左右。

1.2.5 不同茶类抑菌效果比较 根据文献<sup>[8]</sup>的方法,在培养皿上均匀涂布0.1 mL的菌悬液,待干燥后,于每个培养皿上放置3个灭菌牛津杯,各注入0.1 mL浓度为60 mg/mL的无菌茶汤。大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌于37℃恒温培养24 h,酵母菌、黑曲霉于28℃恒温培养48 h。培养后测定抑菌圈大小,抑菌圈试验判定标准为:抑菌圈直

径 $>20$  mm 为极敏;15~20 mm 为高敏;10~15 mm 为中敏;7~9 mm 为低敏; $<7$  mm 为不敏感。以无菌水、庆大霉素对照,重复 3 次。

1.2.6 不同茶类最低抑菌浓度(MIC)比较 根据文献[15]的方法,利用 96 孔细胞板测最低抑菌浓度。96 孔细胞板为 8 列 12 行,每列为一类茶汤。每孔中都加 100  $\mu$ L 的液体培养基,1~7 列中第 1 行和第 2 行中加入浓度为 120 mg/mL 的茶汤 100  $\mu$ L。在第 2 行中取混匀的 100  $\mu$ L 液体于第 3 行中,余下第 3 行至第 5 行依次重复。第 11 行的溶液吸出 100  $\mu$ L 弃用。在 2~12 行中加入制好的菌悬液 0.1 mL,并混匀。第 1~12 行,茶汤浓度为分别为 60, 30, 15, …… 0.117, 0.059 0 mg/mL。放入恒温培养箱培养,细菌 37  $^{\circ}$ C 培养 24 h,酵母菌和黑曲霉 28  $^{\circ}$ C 培养 48 h。经过培养后,直接观察,没有抑菌效果的茶汤显浑浊或有菌沉淀。澄清的茶汤的最小浓度是对该菌的最低抑菌浓度,重复 3 次。

1.2.7 不同茶样最低杀菌浓度(MBC)比较 根据文献[16]的方法,将 1.2.6 步骤中 96 孔板上判断为最低抑菌浓度的孔和它以上 3 个浓度的液体 100  $\mu$ L 涂布到固体培养基上,放入恒温培养箱培养,大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌 37  $^{\circ}$ C 培养 24 h,霉菌、啤酒酵母 28  $^{\circ}$ C 培养 48 h。观察培养皿,菌株数小于 5 个的培养皿的浓度为最低杀菌浓度,重

复 3 次。

### 1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 进行数据处理,显著性差异、相关性分析使用 SPSS 22.0 统计软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同茶样抑菌效果比较

由表 1 可知,六大茶类茶样对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌 3 种细菌具有较好的抑制作用,而对黑曲霉、啤酒酵母的抑制不明显。与王静等<sup>[6]</sup>研究结果相符。庆大霉素对 3 种细菌的抑制效果最强。在统计学意义的范围内( $P<0.05$ ),六大茶类对金黄色葡萄球菌的抑制效果表现为:绿茶 $>$ 黄茶、黑茶、白茶、青茶 $>$ 红茶;对枯草芽孢杆菌的抑制效果表现为:绿茶 $>$ 黄茶、黑茶、青茶 $>$ 白茶 $>$ 红茶;对大肠杆菌的抑制效果表现为:绿茶 $>$ 黄茶 $>$ 黑茶、白茶、青茶 $>$ 红茶。说明相同原料,不同的加工工艺下的茶叶对细菌的抑制有显著差异,绿茶与其他茶类、红茶与其他茶类的抑菌效果差异显著( $P<0.05$ )。金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌属于革兰氏阳性细菌,大肠杆菌为革兰氏阴性细菌,说明六大茶类及固定样对细菌的抑制有广谱性,且对革兰氏阳性细菌的抑制强于革兰氏阴性细菌。

表 1 不同茶样抑菌圈直径比较<sup>†</sup>

Table 1 Anti-microbial circle diameter of different tea samples mm

组别	大肠杆菌	枯草芽孢杆菌	金黄色葡萄球菌	啤酒酵母	黑曲霉
固样	16.05 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>	17.04 $\pm$ 0.55 <sup>b</sup>	16.22 $\pm$ 0.78 <sup>b</sup>	—	—
绿茶	15.35 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup>	16.80 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>	16.15 $\pm$ 0.42 <sup>b</sup>	—	—
黄茶	14.17 $\pm$ 0.71 <sup>d</sup>	15.40 $\pm$ 0.72 <sup>c</sup>	14.42 $\pm$ 0.27 <sup>c</sup>	—	—
黑茶	13.29 $\pm$ 0.81 <sup>e</sup>	14.86 $\pm$ 0.24 <sup>c</sup>	14.35 $\pm$ 0.37 <sup>e</sup>	—	—
白茶	13.00 $\pm$ 0.32 <sup>e</sup>	13.30 $\pm$ 0.33 <sup>d</sup>	14.08 $\pm$ 1.30 <sup>e</sup>	—	—
青茶	13.45 $\pm$ 0.43 <sup>e</sup>	14.37 $\pm$ 1.30 <sup>c</sup>	14.78 $\pm$ 0.91 <sup>e</sup>	—	—
红茶	8.00 $\pm$ 0.00 <sup>f</sup>	9.80 $\pm$ 1.14 <sup>e</sup>	9.08 $\pm$ 0.69 <sup>d</sup>	—	—
CK(庆大霉素)	23.00 $\pm$ 0.42 <sup>a</sup>	34.77 $\pm$ 0.67 <sup>a</sup>	28.52 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	—	—

† 不同小写字母表示各试样间存在显著性差异( $P<0.05$ )。—表示抑菌效果不明显。

六大茶类抑菌效果存在差异,可能是尽管 7 个样品的茶鲜叶原料相同,但因加工工艺不同而使内含成分发生变化;也可能是革兰氏阴性菌与革兰氏阳性细菌在细胞壁组分及结构上的差异等,使得茶叶对革兰氏阳性细菌抑制效果较革兰氏阴性细菌的好。根据杨联松等<sup>[17]</sup>对茶多酚抑制真菌的研究结果,10 mg/mL 茶多酚对啤酒酵母有抑制效果、对黑曲霉抑制不明显,100 mg/mL 茶多酚对黑曲霉有抑制效果。本研究的 7 个样品对 2 种真菌的抑制效果不明显,可能与茶汤浓度有关。

### 2.2 不同茶样最低抑菌浓度(MIC)、最低杀菌浓度(MBC)的比较

由表 2 可知,绿茶对细菌的抑制和杀灭浓度对比其他茶类,浓度最低,红茶浓度最高,青茶介于两者中间。绿茶对枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌的 MIC 和 MBC 分

表 2 不同茶样最低抑菌浓度(MIC)、最低杀菌浓度(MBC)比较

Table 2 MIC and MBC of different tea samples on different microorganisms mg/mL

茶类	金黄色葡萄球菌		枯草芽孢杆菌		大肠杆菌	
	MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC
固样	1.88	1.88	0.94	0.94	7.50	7.50
绿茶	1.88	1.88	0.94	0.94	7.50	7.50
黄茶	1.88	3.75	0.94	0.94	7.50	15.00
黑茶	1.88	3.75	1.88	1.88	7.50	15.00
白茶	3.75	3.75	3.75	7.50	15.00	15.00
青茶	3.75	3.75	3.75	7.50	15.00	15.00
红茶	7.50	7.50	15.00	30.00	30.00	30.00

别为 0.94, 1.88, 7.50 mg/mL; 红茶在浓度分别为 7.5, 15, 30 mg/mL 时有抑制作用, 浓度分别为 30, 7.5, 30 mg/mL 时有杀灭作用。六大茶类对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌的 MIC 呈现出: 红茶 > 青茶、白茶 > 黑茶、黄茶、绿茶、固样的趋势; 对枯草芽孢杆菌的 MIC 呈现出: 红茶 > 青茶、白茶 > 黑茶 > 黄茶、绿茶、固样的趋势。对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌的 MBC 呈现出: 红茶 > 青茶、白茶、黑茶、黄茶 > 绿茶、固样的趋势; 对枯草芽孢杆菌的 MBC 呈现出: 红茶 > 青茶、白茶、黑茶 > 黄茶 > 绿茶、固样的趋势。3 种细菌 MIC、MBC 呈现的趋势, 符合六大茶类茶多酚含量和儿茶素总量的顺序变化, 说明茶多酚、儿茶素组分与对细菌抑制有一定的相关性。

2.3 茶叶中的部分生化成分和抑菌效果的相关性

经检测, 固样、绿茶、黄茶、黑茶、青茶、白茶、红茶水含量分别为 4.63%, 3.57%, 3.37%, 5.49%, 3.78%, 3.94%。由表 3、4 可知, 相同的原料经过不同的工艺加工后, 生化成分发生变化。其中绿茶茶多酚含量是红茶的 2.78 倍。儿茶素

的变化和茶多酚变化趋势基本一致, 但总量差异较大, 绿茶含量最高, 是含量最低的红茶的 17.18 倍。可溶性碳水化合物含量黄茶含量最高, 是含量最低的红茶的 1.94 倍。咖啡碱含量红茶最高, 是含量最低的黑茶的 1.26 倍。由表 5 可知, 茶多酚、EGCG、GCG、ECG、儿茶素总量、可溶性碳水化合物、水浸出物等物质占干茶的百分比, 与对 3 种细菌抑菌效果显著相关 ( $P < 0.01$ ); 咖啡碱含量与抑菌效果呈负相关。

研究<sup>[18]</sup>表明, 茶多酚可通过破坏细胞膜的脂质层及细胞壁、与蛋白质及离子发生络合、降低细菌对磷的消耗等方式抑制细菌。而 EGCG 可通过增加细菌内源性氧化应激抑制细菌生长<sup>[19]</sup>。多种植物多糖被证实有抑菌作用<sup>[20-21]</sup>, 多糖和多酚相互作用还可以增强多酚的抑菌效果。这些物质的抑菌作用都和浓度有关, 可能是形成样品含量高低与抑菌效果好坏呈高度相关的原因。咖啡碱虽然也表现出一定的抑菌作用<sup>[7]</sup>, 但其含量在各样品中差异不大, 在茶汤成分中对抑菌效果的影响不显著, 说明茶叶抑菌效果和其主体物质茶多酚有关。

表 3 不同茶样主要化学成分

Table 3 Main biochemical components of different tea samples

茶类	可溶性碳水化合物	茶多酚	咖啡碱	水浸出物
固样	6.56	28.35	3.92	40.60
绿茶	6.23	26.23	3.85	41.99
黄茶	6.88	26.09	4.40	39.92
黑茶	6.38	24.92	3.84	39.45
白茶	5.65	22.95	4.52	38.71
青茶	5.54	23.15	4.70	38.41
红茶	3.55	10.20	4.82	29.00

表 4 不同茶样的儿茶素及组分含量

Table 4 Contents of catechins and constituents in different tea samples

茶类	EGC	DLC	EC	EGCG	GCG	ECG	总量
固样	0.452	0.451	0.215	9.882	4.840	2.347	18.187
绿茶	0.492	0.298	0.207	9.248	5.537	2.393	18.176
黄茶	0.458	0.262	0.325	8.194	5.018	1.909	16.166
黑茶	0.425	0.361	0.176	6.133	4.129	1.388	12.613
白茶	0.159	0.080	0.114	6.541	2.665	1.721	11.281
青茶	0.365	0.215	0.184	7.112	3.682	1.869	13.427
红茶	0.110	0.015	0.197	0.265	0.132	0.340	1.058

表 5 主要生化成分与抑菌圈直径的相关性<sup>†</sup>

Table 5 The correlation between biochemical components and antibacterial circle diameter

抑菌圈直径	可溶性碳水化合物	茶多酚	咖啡碱	水浸出物	EGC	DLC	EC	EGCG	GCG	ECG	儿茶素总量
大肠杆菌	0.914**	0.978**	-0.723	0.967**	0.791*	0.793*	0.714	0.990**	0.930**	0.967**	0.980**
金黄色葡萄球菌	0.886**	0.968**	-0.712	0.979**	0.738	0.740	0.040	0.971**	0.901**	0.958**	0.956**
枯草芽孢杆菌	0.915**	0.955**	-0.817*	0.948**	0.813*	0.818*	0.215	0.956**	0.934**	0.924**	0.960**

† \* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; \*\* 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

3 结论

试验证明了相同原料不同加工工艺的茶叶对细菌的抑制有显著差异, 绿茶与其他茶类、红茶与其他茶类的抑菌效果差异显著 ( $P < 0.01$ )。经分析, 本研究中的金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌的抑菌圈直径大小与样品所含茶多酚含量、儿茶素总量、EGCG 含量、可溶性糖含量高度相关, 但由于茶汤组成成分复杂, 活性物质多, 对这些物质的定性定量分析及其与茶叶抑菌作用的量效关系, 尚有待进一步探索。

参考文献

[1] 宋丽, 丁以寿. 陈椽茶叶分类理论[J]. 茶业通报, 2009(3):

143-144.

[2] 申雯, 黄建安, 李勤, 等. 茶叶主要活性成分的保健功能与作用机制研究进展[J]. 茶叶通讯, 2016(1): 8-13, 65.  
 [3] 任蕾, 杨圣辉, 果梅英. 六种茶叶对口腔常见致病菌的抑菌作用[J]. 北京口腔医学, 2003(2): 91-93, 117.  
 [4] 傅冬和, 余智勇, 黄建安, 等. 不同年份茯砖茶水提取物的抑菌效果抑菌[J]. 中国茶叶, 2011(1): 10-12.  
 [5] 薛晨. 原料级别和贮藏时间对普洱茶品质及其生物活性影响的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013: 37-39.  
 [6] 王静, 戚向阳, 朱学良, 等. 表没食子儿茶素没食子酸酯及其不同氧化级分的抑菌活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2008(1): 91-94, 62.

(下转第 76 页)

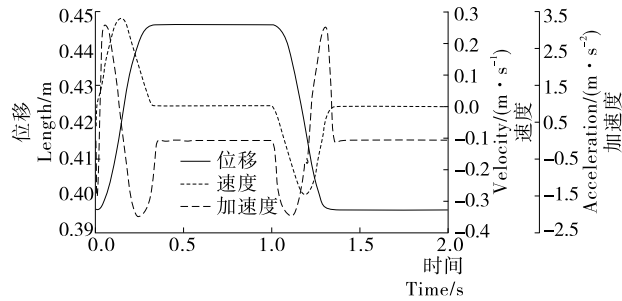


图8 机械手升降动作位移、速度和加速度曲线

Figure 8 Displacement, velocity and acceleration curve of manipulator lifting movement

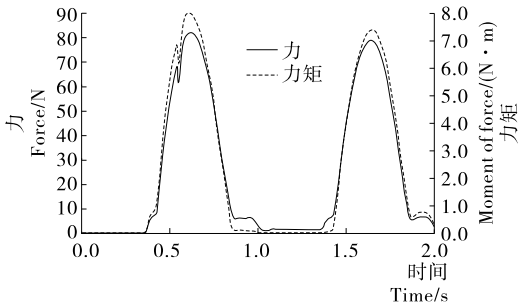


图9 进退弧面凸轮机构碰撞力和碰撞力矩曲线

Figure 9 Contact force and contact torque curve of globoidal cam mechanism

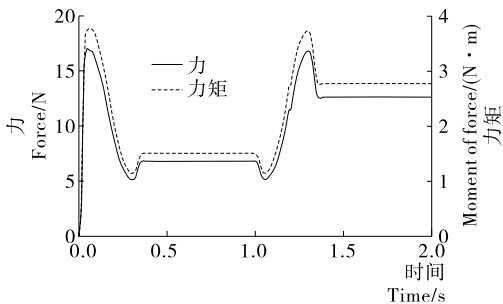


图10 升降弧面凸轮机构碰撞力和碰撞力矩曲线

Figure 10 Contact force and contact torque curve of lifting globoidal cam mechanism

## 4 结论

根据机械手的执行动作设计凸轮运动循环图,设计一款凸轮式步进驱动型机械手;建立该机械手的数字化样机,尤其是对两端的弧面凸轮进行了参数化建模;最后通过ADAMS对整机进行了仿真验证和分析。结果表明,该机械手的位移、速度和加速度曲线与修正正弦运动规律理论曲线相符,速度及加速度曲线基本上没有抖动,运动特性良好,碰撞力和碰撞力矩也符合实际情况。试验只对步进驱动型机械手进行了多刚体动态仿真,为了更加接近实际工作环境,今后可对机构进行刚柔耦合的动力学分析。

## 参考文献

- [1] 曹西京, 曹巨江. 弧面凸轮钢球式机械手的设计研究[J]. 研究·设计·制造, 2003(2): 32-33.
- [2] 余剑武, 舒新, 罗红, 等. 灌装机中弧面凸轮建模与造型研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 77-82.
- [3] 杨妮. 冲压上下料直动型弧面凸轮机械手的设计与研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2007: 8-9.
- [4] 刘庆立. 弧面凸轮机械手的参数化与仿真[D]. 西安: 陕西科技大学, 2009: 3-4.
- [5] 黄薇, 葛正浩, 刘韦华, 等. 基于VB6.0和Pro/E的弧面分度凸轮三维参数化实体建模[J]. 机械传动, 2012(9): 41-44.
- [6] 曹鹏, 葛正浩, 刘小琴. 基于Pro/E的多头弧面凸轮三维建模及运动仿真[J]. 机械传动, 2016, 40(7): 97-100.
- [7] 杜灼祖, 贾争现, 曹巨江. 滚子齿形凸轮循环图的设计与分析[J]. 西北轻工业学院学报, 2002, 20(5): 30-33.
- [8] 秦成. 基于Pro/E和ADAMS的凸轮机构虚拟样机研究[J]. 机械工程与自动化, 2008(4): 35-36.
- [9] 席晓燕. 推料机构凸轮轮廓曲线设计仿真及误差分析[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 77-80.
- [10] 石明金. 基于ADAMS的多接触研究[J]. 计算机工程与应用, 2004(29): 220-222.
- [11] 马志平. 弧面分度凸轮机构刚柔耦合动力学研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014: 43-60.

(上接第50页)

- [7] 张华艳, 戚丽, 张正竹. 咖啡碱对茶树主要叶部病原真菌的抑制作用[J]. 南京农业大学学报, 2010(2): 63-67.
- [8] 金惠恩, 吴媛媛, 屠幼英. 茶黄素抑菌作用的研究[J]. 中国食品学报, 2011(6): 108-112.
- [9] 方世辉, 张秀云, 夏涛, 等. 茶树品种、加工工艺、季节对乌龙茶品质影响的研究[J]. 茶叶科学, 2002(2): 135-139, 146.
- [10] 金珊, 余有本, 张秀云, 等. 设施栽培对绿茶品质的影响[J]. 中国农学通报, 2009(15): 261-267.
- [11] 黄意欢. 茶学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 115.
- [12] 施兆鹏. 茶叶加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [13] 张梁, 周杰, 秦金花. 多种茶叶废料中多酚类成分和咖啡碱的含量测定[J]. 食品科学, 2013(20): 113-116.
- [14] 钟萝. 茶叶品质理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989: 453-454.
- [15] 陈默, 王志伟, 胡长鹰, 等. 酶标仪法快速评价香兰素的抑菌活

性[J]. 食品与发酵工业, 2009(5): 63-66.

- [16] 张赧彬, 刘笑宇, 姜萍萍, 等. 肉桂醛对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌作用及抑菌机理研究[J]. 现代食品科技, 2015(5): 31-35.
- [17] 杨联松, 檀根甲, 徐美清. 茶多酚抑菌作用和防腐效果初探[J]. 安徽农业科学, 1996(4): 86-88.
- [18] 王丽, 许奇, 徐顺, 等. 茶多酚对微生物生长影响的研究进展[J]. 现代食品科技, 2013(7): 1 737-1 741.
- [19] XIONG Li-gui, CHEN Yi-jun, TONG Jie-wen, et al. Tea polyphenol epigallocatechin gallate inhibits Escherichia coli by increasing endogenous oxidative stress [J]. Food Chemistry, 2017, 217: 196-204.
- [20] 曾红亮, 黄灿灿, 常青, 等. 金柑多糖微波辅助提取工艺优化及抑菌效果[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 154-160.
- [21] 高洁, 董文宾, 王勇, 等. 山皂荚多糖的提取工艺及抑菌活性[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 145-149, 206.