

超声波臭氧组合果蔬清洗机设计与试验*

王海鸥 胡志超 吴 峰 曹士锋 谢焕雄 钟 挺

(农业部南京农业机械化研究所, 南京 210014)

【摘要】 通过融合超声波和臭氧两项清洗技术,设计了集去污、灭菌、降解农药残留等功能为一体的超声波臭氧组合果蔬清洗机。该机通过设计清洗自动控制程序,制定自动清洗工艺,设有喷淋漂洗、超声臭氧清洗和二次喷淋3个清洗过程,可完成果蔬全自动清洗。采用相向错位配置喷淋装置,结合程序控制,清洗过程中可使果蔬等发生间断性扰动和翻滚,实现换位清洗,提高清洗均匀性,增强臭氧混合效果。草莓清洗试验表明,本机对草莓品质无影响,灭菌率超过90%,对敌敌畏、乙酰甲胺磷和乐果等农药的降解率均为85%左右,灭菌、去污、降解农药残留效果显著。

关键词: 果蔬 清洗机 超声波 臭氧 设计 试验

中图分类号: S216 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)07-0165-05

Design and Experiment on Ultrasonic-ozone Washer for Fruits and Vegetables

Wang Haiou Hu Zhichao Wu Feng Cao Shifeng Xie Huanxiong Zhong Ting
(Nanjing Research Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

Abstract

A multi-functional ultrasonic-ozone washer was designed by integrating the technologies of ultrasonic washing and ozone washing with the functions of decontaminating, sterilizing and reducing pesticide residues. The washing process of the washer was auto-controlled by microcomputer program, including the steps of spray rinsing, ultrasonic-ozone washing, and re-spraying. The two sprayers were disposed on the tank wall vis-a-vis in stagger position. Combined with the control program, the sprayers enabled the fruits or vegetables in the tank to move and roll intermittently during washing, which ensured all the surface of the wash matter can be cleaned, and the ozone-water blend effect was improved. Experiments on strawberry washing showed that the washer had no significant influence on the strawberry quality, and the sterilization rate of microorganism on strawberry was more than 90%, the degradation rates of equigard, acephate, dimethoate all reached about 85%. The washer had significant effect of decontaminating, sterilizing and reducing pesticide residues.

Key words Fruits and vegetables, Washer, Ultrasonic, Ozone, Design, Experiment

引言

传统的果蔬清洗机一般采用喷淋式、毛刷式、滚筒式等结构形式,其中喷淋式清洗机耗水量大,对形状复杂清洗物存在清洗盲区,去污效果不佳;毛刷式和滚筒式清洗机只适用于根茎类果蔬的清洗,对叶类蔬菜和鲜嫩水果损伤较大。以上传统清洗机均存

在适应性差、效果差、能耗高、功能单一等诸多不足,不能兼用于果蔬、餐具,且无法灭菌、降解残留农药^[1]。如何最大限度地去除污物,并有效降低致病菌和农药残留对人体造成的危害,是现代果蔬、餐具清洗机首要解决的问题。

超声波和臭氧相结合,既能高效清除污物,又能有效杀灭病菌、降解农药残留,具有显著的技术优

收稿日期: 2010-08-01 修回日期: 2010-08-13
* 南京市科技计划资助项目(200803017)
作者简介: 王海鸥,助理研究员,主要从事农产品加工技术与装备研究,E-mail: wholej@yahoo.com.cn
通讯作者: 胡志超,研究员,博士,主要从事农业机械化工程及农产品加工技术装备研究,E-mail: nfzhongzi@163.com

势^[2-5]。目前,国内外在超声波臭氧组合清洗果蔬方面均处于试验研究阶段,市场上还缺乏成熟可用的超声波臭氧组合清洗设备。本文结合超声波和臭氧两项技术,设计可用于果蔬、餐具的自动清洗设备,并进行灭菌、去污、降农残等性能试验。

1 整机结构

超声波臭氧组合清洗机主要由清洗槽、超声波系统、臭氧系统、进出水系统、控制系统、柜体等组成,如图 1 所示。防水板将柜体隔成两个箱室,其中要求防水的电器元件(包括控制系统、臭氧发生器、超声波发生器)位于与清洗槽相隔开的同一箱室。10 个超声波换能器粘结在清洗槽底部,并通过电线与超声波发生器连接;4 个臭氧分布器分别设置在清洗槽侧壁底部四角,通过臭氧气管与臭氧发生器连通;两个喷头相向错位设置在清洗槽侧壁上,分别由两个进水电磁阀控制喷水;排水口设置在清洗槽底部,由出水电磁阀控制排水;清洗槽侧壁上还设有溢流口,与出水口直接相通;高、低水位传感器设置在清洗槽侧壁不同高度处,用于监测水位高度,并给控制系统提供决策信号。

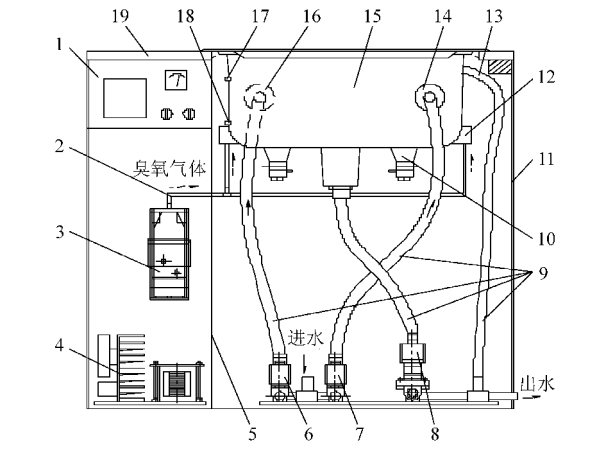


图 1 超声波臭氧组合清洗机结构简图

Fig. 1 Structural sketch of the washer

1. 控制系统 2. 臭氧气管 3. 臭氧发生器 4. 超声波发生器
5. 隔离板 6. 进水电磁阀 1 7. 进水电磁阀 2 8. 出水电磁阀
9. 水管 10. 超声波换能器 11. 柜体 12. 臭氧分布器
13. 溢流口 14. 喷头 1 15. 清洗槽 16. 喷头 2 17. 高水位传感器 18. 低水位传感器 19. 台面

2 清洗工艺过程设计

本机清洗过程有手动和自动两种作业模式。手动模式下可根据需要独立启闭臭氧发生器、超声波发生器、进水电磁阀、出水电磁阀等部件,自动模式下则可按照设定的程序启闭各电器元件,实现清洗全过程自动化。

自动清洗模式的操作流程如图 2 所示,设有喷淋漂洗、超声臭氧清洗和二次喷淋 3 个清洗过程,开机清洗前需在控制器上设定喷淋漂洗时间 t_1 、超声臭氧清洗时间 t_2 、二次喷淋时间 t_3 ,然后按以下步骤进行:

(1)喷淋漂洗:进水电磁阀 1、2 和出水电磁阀自动开启,超声波、臭氧不开启,在自来水水压作用下,槽壁上错位配置的两个喷头对清洗物进行喷淋漂洗,初步去除清洗物表面尘土、油污等杂质,持续时间为 t_1 。

(2)超声臭氧组合清洗:出水电磁阀自动关闭,进水电磁阀 1、2 继续开启,待液面上升至低水位传感器时,启动超声波和臭氧,待液面达到高水位传感器时,

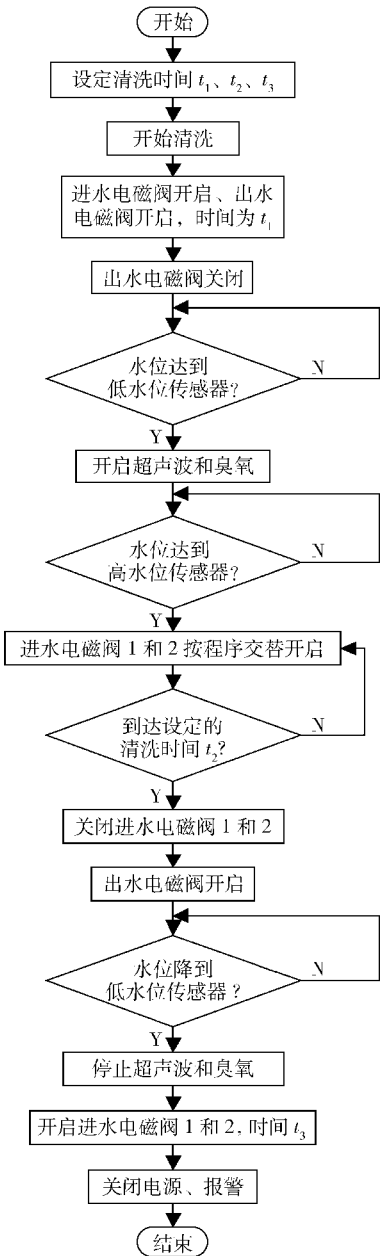


图 2 自动清洗流程图

Fig. 2 Flow chart of automatic washing

器时,关闭进水电磁阀,并维持该状态 t_2/n 时间后,交替开启进水电磁阀 1、2 各 1 次,每次开启时间为 t ,然后经 t_2/n 时间后,再次交替开启进水电磁阀 1、2,如此循环作业 n 次。在此清洗过程中,两个喷头间歇性地向清洗槽中喷入干净水源,液位升高后会将漂浮在液面上的污物从溢流口直接排出,防止清洗结束排水时漂浮污物对被清洗物的再次污染。由于进水喷头错位配置,间隔喷水时可以使清洗液形成漩流,从而有效溶解臭氧,提高臭氧在清洗液中的浓度,达到更好的杀菌效果,而且喷头喷出的水流还可使清洗槽内的果蔬在清洗过程中自动翻转与移位(沉浮),所有表面均有机会朝向超声波源,因此避免了洗涤死角,保证清洗均匀,提高洗净度。超声波清洗过程中,若清洗液搅动过大则会削弱超声波的空化强度,降低清洗效果,因此进水电磁阀交替开启时间 t 不能过长,一般设置为 3~5 s,清洗液经过短暂的漩流扰动后又恢复到静止状态,以保证超声波清洗效果。

(3)排水和二次喷淋:进水电磁阀 1、2 自动关闭,打开出水电磁阀开始排水,待液面降至低水位传感器时,停止超声波和臭氧,同时开启进水电磁阀 1、2,进行二次喷淋漂洗,防止污物再次沉积到被清洗物表面,二次喷淋漂洗时间为 t_3 。

(4)第二次喷淋漂洗结束后,进水电磁阀自动关闭,并语音提示清洗完毕。

上述自动清洗工艺有效融合超声波和臭氧两项技术,可以使清洗效果更为显著,不仅能有效清油去污,还能去除果蔬表面的残留农药,杀灭细菌,且过程中无需人工参与,真正实现清洗全过程自动化。

3 主要部件选型及设计

3.1 清洗槽

清洗槽要求满足食品级卫生要求,同时超声波清洗时清洗液具有较强的空化强度,要求清洗槽既要耐腐蚀,又要对超声波吸收少,因此超声清洗槽的制作材料多采用不锈钢。槽壁厚度决定了超声波的透声性能和使用寿命,壁厚越小,超声波换能器的传递损失小,但也越容易因超声空化作用而被气蚀穿孔,槽壁厚度不可过大或过小,一般选用 1~2 mm。本清洗槽采用 1.5 mm 厚的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢板制成,与清洗液接触的槽面均经过抛光处理,以减少空化腐蚀,为提高粘接强度,槽底与换能器粘接的一面采用喷砂处理。

清洗槽形状和尺寸是影响超声波清洗机清洗效果重要因素之一。传统清洗设备的槽体一般有圆筒形和多边形两种,由于圆筒形清洗槽与超声波换能

器耦合性差,因此本超声波清洗机选用多边形槽体。超声换能器粘结在清洗槽底部,超声波有效作用范围是 50~400 mm,水位过高时,超声波换能器将无法起振;水位过低时,会有大量的超声波从液面反射回底部,易对清洗槽造成空化气蚀。研究表明超声波最佳清洗距离应在 200 mm 以内,而且清洗槽大小应满足家用厨房要求,体积一般在 20 L 左右。基于上述考虑,本机清洗槽的尺寸确定为 380 mm × 350 mm × 200 mm,清洗槽溢流口高度(即最大液面高度)为 150 mm,最大盛水体积约 20 L。

3.2 超声波系统

(1)超声波换能器

超声清洗用的换能器多采用工业上常用的夹心式压电换能器,结构如图 3 所示。其中后盖板一般用钢做成;压电陶瓷环片大多用锆钛酸铝(PZT)材料;前盖板是铝辐射锥体,前盖板做成锥体状是为提高辐射效率,由大锥体面辐射超声波;螺杆用高强度螺栓钢制成,将前、后金属盖板与中间的压电陶瓷片连接在一起,并施加一定的预应力。夹心式压电换能器的电功率容量一般在 50~100 W 范围内。

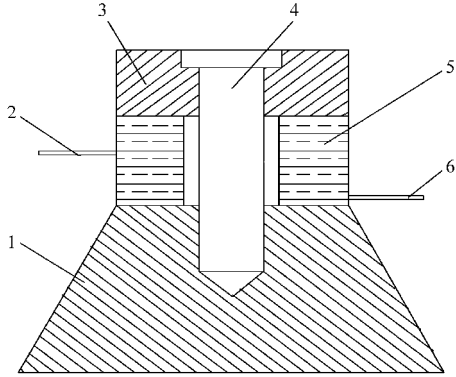


图 3 超声波换能器结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the transducer

1. 前盖板 2、6. 铜电极片 3. 后盖板 4. 螺杆 5. 压电陶瓷环片

频率和功率是超声换能器的两个重要参数,对清洗机的性能和效果具有较大影响。很多研究表明,清洗果蔬、餐具时,40 kHz 的超声清洗效果好,且对被清洗物损伤小。粘有换能器的辐射板所承受的电功率强度一般要低于 1.5 W/cm²,过高强度会加速辐射板表面的空化腐蚀,且过剧烈的空化会在声源附近产生大量无用气泡,形成一道能量传播屏障,使远离辐射面的液体空间声强变弱而达不到均匀清洗的目的。但换能器功率也不能过小,清洗时功率过低,清洗液的声强达不到空化要求,超声清洗效果就会变差。根据经验,超声波清洗机换能器功率配置要根据与换能器粘结的辐射板面积来确定,按照 0.3 W/cm²来计算换能器功率,本清洗机换能器直接粘结于槽底,清洗槽底面积 1 330 cm²,按此

方法可计算配置换能器的功率为 400 W,但考虑到压电式换能器的电声效率为 80% 左右,因此确定本机超声波换能器总功率为 500 W。超声波换能器选定型号 QYH-50-40LB,单只换能器功率为 50 W,共 10 个换能器。

(2) 超声波发生器

超声波发生器的设计要充分考虑换能器的阻抗、幅频、相频等特性,超声波发生器要与换能器相匹配,以最大限度保证换能器工作效率。在使用过程中,换能器频率受液体温度、水位深度、载荷状况(功率)等条件影响而变化,只有超声波发生器的频率必须跟随着换能器频率自动变化,输出匹配最佳,换能器才能达到最佳工作状态,并能提高清洗效果、延长换能器使用寿命。本清洗机订制了与上述选定换能器相匹配的超声波发生器,型号为 QYP-40-500TM,输出功率为 500 W 且连续可调,工作频率为 40 kHz,并具有频率自动跟踪调节功能。

3.3 换能器与清洗槽底部的布置

本清洗机的超声波换能器与清洗槽底部连接方式直接采用胶粘的方式,粘结质量对整机质量影响较大,不但要粘牢,而且要求胶层均匀、不缺胶和无阻隔,使超声能量最大限度地向清洗液中传输,以提高整机效率和清洗效果。清洗槽制作时,其底面呈一定的弧面形状,若直接将换能器粘结到底面,则粘结时换能器前盖板辐射面与槽底部不能紧密接触,两者之间的胶层厚度不一,不能将换能器振动有效地传递到清洗槽内,一方面会降低清洗槽内声场强度而达不到空化效果或空化效果很弱,另一方面换能器由于未能有效传递出超声能量,自身温度迅速升高,最终烧坏换能器。为尽可能保证清洗槽与换能器粘结面平整,在清洗槽底部的换能器粘结处压制直径为 50 mm、高度为 2 mm 的凹坑,形状如图 4 所示。

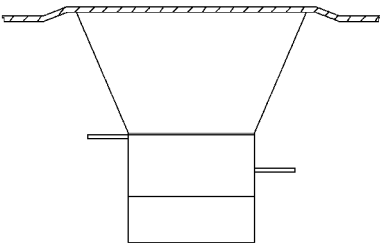


图 4 清洗槽凸台形状
Fig. 4 Convex shape of the tank

换能器在振板上的分布方式决定了振板的振动效果,进而影响清洗液的声场特性。根据杨奇等的研究结果,换能器在振板上呈正三角形排列时,与矩形排列、正方形排列相比,板声源振幅大且振动相对均匀^[6]。因此本机设计时,换能器与清洗槽底部的

布置亦采用正三角形排列方式,每两个换能器中心距离为 100 mm,如图 5 所示。

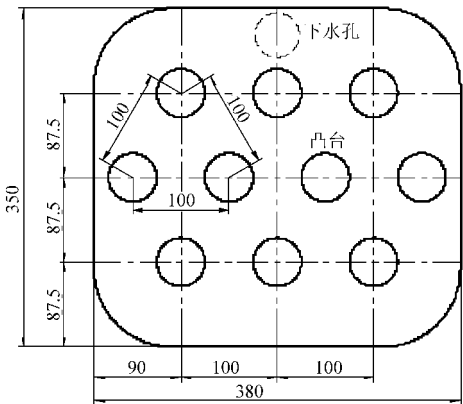


图 5 换能器在槽底部的分布
Fig. 5 Transducer distribution on the tank bottom

3.4 臭氧发生系统

本清洗机臭氧发生系统利用电解水产生臭氧原理,避免高压电晕法所带来的氮氧化物安全隐患,确保清洗食品和家庭环境安全。臭氧发生系统主要由臭氧发生器、连接软管、气泵、单向阀、臭氧分布器(曝气石)等组成。臭氧发生器选用 DJ-Q1010A 型臭氧发生装置(臭氧输出量为 800 mg/h),通过电解水式臭氧发生模块,将二次蒸馏水电解产生臭氧,产生的臭氧气体在气泵作用下通过单向阀后分为 4 路,再分别由曝气石通入水中,产生具有杀菌、降解农药残留效果的臭氧水。单向阀作用是防止清洗槽中的水回流而损坏气泵和臭氧发生器,4 个曝气石分别布置在清洗槽底部 4 角,使臭氧气体与水充分混合,提高臭氧浓度。

3.5 自动进出水系统

进出水系统由 2 只进水电磁阀、2 只与进水电磁阀相对应的喷头、1 只出水电磁阀以及若干水管组成。进、出水电磁阀均为常闭状态,2 只进水电磁阀通过三通与自来水管接通,当通电时进水电磁阀打开,自来水受水压作用经喷头射向清洗槽;出水电磁阀直接与清洗槽底部的下水孔相通。喷头在清洗槽壁上呈相向错位配置,喷头结构如图 6 所示,喷头盖与喷头座通过螺纹相旋紧,螺母将喷头座与槽壁并紧,喷头盖端部开有若干个出水孔,自来水在水压作用下从进水口进入喷头,在喷头盖端部形成一股散射细流,实现对清洗物的喷淋和冲洗。

4 清洗试验与分析

以鲜草莓为原料开展超声臭氧组合清洗试验,以检验该样机的清洗效果。供试草莓品种为丰香,采摘后 1 h 内运回实验室,选择无机械损伤、无腐烂、颜色及大小基本一致的果实作为试验原料,分别

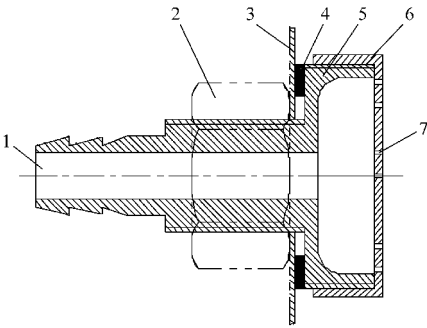


图 6 喷头结构

Fig. 6 Structure of the sprayer nozzle

1. 进水口 2. 螺母 3. 槽壁 4. 防水垫 5. 喷头座
6. 喷头盖 7. 出水孔

表 1 清洗对草莓品质和微生物的影响

Tab. 1 Effect of washing on the quality and microorganism of strawberry						
处理	硬度/kg·cm ⁻²	可溶性固形物	可滴定酸	维生素 C 含量	细菌含量	酵母和霉菌含量
		含量/%	含量/%	/mg·g ⁻¹	/lgCFU·g ⁻¹	/lgCFU·g ⁻¹
清洗前	3.04	8.03	0.78	0.83	2.15	2.27
清洗后	3.01	8.04	0.78	0.82	1.09	1.17

数两项指标在清洗前后差值均超过 1 lgCFU/g,即超声波臭氧清洗对草莓上的微生物杀灭率均超过 90%,灭菌效果显著。

4.2 去污效果检测

由于草莓原料粘有污物很少,若直接进行清洗试验,则不利于比较去污效果。为此对草莓原料进行如下处理:取一定的泥土添加适量水,充分搅拌制成泥浆,将泥浆均匀地涂在草莓表面,自然风干后再进行去污清洗试验。试验时,随机选取 5 颗草莓进行标记,分别记录涂泥浆前质量 W_1 、涂泥浆后质量 W_2 、清洗后质量 W_3 ,通过清洗前后质量差异(表 2)同时结合人工查看来判定去污效果。超声波臭氧清洗后,用放大镜查看草莓表面,泥浆均被清除,且未发现其他污物痕迹。从表 2 结果可知,涂抹在草莓表面的泥浆在 3 g 左右,标记的 5 颗草莓清洗后质量 W_3 均稍低于草莓原始质量 W_1 ,表明超声臭氧清洗不仅有效去除人工涂抹的泥浆,而且还将草莓上其他少量污物或表面组织也一同清除。质量测试和人工观察均表明,本清洗机对草莓去污清洗均匀,洁净度高,完全达到食用要求。

表 2 草莓清洗前后质量变化

Tab. 2 Change of strawberry mass caused by the washing			
试验序号	g		
	W_1	W_2	W_3
1	12.4	15.5	12.1
2	11.6	14.4	11.3
3	11.2	13.9	11.0
4	12.1	15.3	11.6
5	11.5	15.1	11.1

进行灭菌、去污以及降农残清洗试验。清洗试验时采用自动清洗模式,设定喷淋漂洗时间 t_1 为 1 min,超声臭氧清洗时间 t_2 为 20 min,二次喷淋时间 t_3 为 1 min。

4.1 草莓品质和灭菌效果测试

为了研究超声波臭氧组合清洗对草莓品质影响和灭菌效果,对清洗前后的草莓测定果实硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素 C 含量、细菌总数、酵母和霉菌总数等指标,具体见表 1。测试结果表明,清洗前后硬度、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C 等品质指标均无显著变化,超声波臭氧清洗未对草莓品质形成破坏;而细菌总数、酵母和霉菌总

4.3 降农残效果检测

为了更好地评判超声臭氧清洗的降农残效果,在采摘前几天,采用敌敌畏、乙酰甲胺磷和乐果 3 种农药混合溶液,对草莓园中的某几株草莓连续进行 4 次喷药处理,以提高供试草莓的农药残留量,然后将喷药处理的草莓采回实验室,在本清洗机上清洗试验,参照 NY/T 1453-2007 方法测定草莓清洗前后的农药残留量变化,测试结果如表 3 所示。结果表明,利用本清洗机对草莓进行超声波臭氧清洗,对敌敌畏、乙酰甲胺磷和乐果的降解率均为 85% 左右,降农残效果显著。

表 3 农药残留降解试验结果

Tab. 3 Experimental results of pesticide residue degradation						
处理	农药残留质量浓度/mg·L ⁻¹			降解率/%		
	敌敌畏	乙酰甲胺磷	乐果	敌敌畏	乙酰甲胺磷	乐果
清洗前	55.6	36.4	47.2	85.2	84.5	84.1
清洗后	8.24	5.66	7.52			

5 结论

(1)通过集成超声波、臭氧两项清洗技术,研制出适用于家庭果蔬、餐具清洗的超声波臭氧组合清洗机,并制定出自动清洗工艺,设有喷淋漂洗、超声臭氧清洗和二次喷淋 3 个清洗过程,清洗全过程实现自动化。

(2)采用错位对配置喷淋装置,结合自动控制
(下转第 175 页)

- treatment [J]. Food Chemistry, 1999, 67(1): 7 ~ 16.
- 6 Dalmadi I, Polyak-Feher K, Farkas J. Effects of pressure- and thermal-pasteurization on volatiles of some berry fruits [J]. High Pressure Research, 2007, 27(1): 169 ~ 172.
- 7 潘见, 王海翔, 谢慧明, 等. 超高压处理对鲜榨橙汁中主要香气成分的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 239 ~ 243.
Pan Jian, Wang Haixiang, Xie Huiming, et al. Effects of ultra high pressure treatment on main flavor compounds in orange juice [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(5): 239 ~ 243. (in Chinese)
- 8 马永昆, 刘晓庚. 食品化学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2007.
- 9 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- 10 Du Xiaofen, Chad E Finn, Michael C Qian. Volatile composition and odour-activity value of thornless 'Black Diamond' and 'Marion' blackberries [J]. Food Chemistry, 2010, 119(3): 1 127 ~ 1 134.
- 11 丁耐克. 食品风味化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1996.
- 12 Takeo T, Pradip Kumar Mahanta. Production of linalool and geraniol by hydrolytic breakdown of bound forms in disrupted tea shoots[J]. Phytochemistry, 1981, 120(9): 2 145 ~ 2 147.
- 13 张峻松, 张世涛, 毛多斌, 等. 超高压处理对杏汁香气成分的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 267 ~ 270.
Zhang Junsong, Zhang Shitao, Mao Duobin, et al. Effect of ultra high pressure treatment on flavor compounds in apricot juice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(4): 267 ~ 270. (in Chinese)
- 14 Sumitani H, Suekane S, Nakatani Aya, et al. Changes in composition of volatile compounds in high pressure treated peach [J]. J. Agric. Food Chem., 1994, 42(3): 785 ~ 790.
- 15 曾庆梅, 潘见, 谢慧明, 等. 超高压处理对多酚氧化酶活性的影响[J]. 高压物理学报, 2004, 18(2): 144 ~ 148.
Zeng Qingmei, Pan Jian, Xie Huiming, et al. Effect of high pressure (HP) treatments on polyphenol oxidase activity in pear juice [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2004, 18(2): 144 ~ 148. (in Chinese)
- 16 Yamamoto Y, Furuta T, Matsuo J, et al. Cleavage of esters under nearly neutral conditions at high pressure. Chemo- and regioselective hydrolysis in organic solvents[J]. The Journal of Organic Chemistry, 1991, 56(20): 5 737 ~ 5 738.
- 17 李衡. 食品感官鉴定方法及实践[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1990.
- 18 鲁周民, 郑皓, 赵文红, 等. 发酵方法对柿果醋中香气成分的影响[J]. 农业机械学报, 2009, 40(9): 148 ~ 153.
Lu Zhoumin, Zheng Hao, Zhao Wenhong, et al. Effect on aroma components in persimmon vinegar of various fermentation ways [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(9): 148 ~ 153. (in Chinese)

(上接第 169 页)

程序设计,清洗过程中可对果蔬等清洗物作适量扰动和翻滚,实现换位清洗,在不影响超声波空化效果的情况下,提高臭氧混合效果和清洗均匀性。

(3)草莓清洗试验表明,本机对草莓品质无影响,灭菌率超过 90%,对敌敌畏、乙酰甲胺磷和乐果等农药的降解率均为 85% 左右,灭菌、去污、降农残效果显著。

参 考 文 献

- 1 杨红兵,丁为民,陈坤杰,等. 新型蔬菜清洗机的研制[J]. 农业工程学报,2005,21(1): 92 ~ 96.
Yang Hongbing, Ding Weimin, Chen Kunjie, et al. Research and development of a new-style washer of vegetable [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(1): 92 ~ 96. (in Chinese)
- 2 高德,谷吉海,董静,等. 臭氧果蔬保鲜包装技术及试验[J]. 农业机械学报,2006,37(8): 190 ~ 193.
Gao De, Gu Jihai, Dong Jing, et al. Ozone fruits fresh-keeping packaging technology and experimental research [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(8): 190 ~ 193. (in Chinese)
- 3 肖海燕,黄思涵,丘泰球,等. 超声波/臭氧降解有机磷农药的研究进展[J]. 现代食品科学,2007,23(12): 67 ~ 70.
Xiao Haiyan, Huang Sihan, Qiu Taiqiu, et al. Research progress in degradation of organophosphorus pesticide by ultrasound/ozone [J]. Modern Food Science and Technology, 2007, 23(12): 67 ~ 70. (in Chinese)
- 4 Cao Shifeng, Hu Zhichao, Pang Bin, et al. Effect of ultrasound treatment on fruit decay and quality maintenance in strawberry after harvest [J]. Food Control, 2010, 21(4): 529 ~ 532.
- 5 Cao Shifeng, Hu Zhichao, Pang Bin. Optimization of postharvest ultrasonic treatment of strawberry fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 55(3): 150 ~ 153.
- 6 杨奇. 超声清洗系统振动的分析[D]. 长沙:长沙理工大学,2007.
Yang Qi. Analysis on vibration for ultrasonic cleaning system [J]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2007. (in Chinese)