

# 淹没水射流方式清洗樱桃番茄的试验研究

王 莉, 陈勤超

(农业部规划设计研究院, 北京 100026)

**摘 要:** 该文采用试验的方法对淹没水射流方式清洗樱桃番茄进行了研究。通过改变清洗量与射水流量进行试验, 探索两者间的相互关系。并且试验研究了清洗量和清洗时间对清洗效果的影响。结果表明, 淹没水射流方式适合用于樱桃番茄的清洗, 破损率低, 可以获得比较好的清洗效果。

**关键词:** 樱桃番茄; 清洗; 淹没水射流

**中图分类号:** S226

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2007)9-0086-05

王 莉, 陈勤超. 淹没水射流方式清洗樱桃番茄的试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 86-90.

Wang Li, Chen Qinchao. Experimental study on washing cherry tomatoes with submerged jets mechanism[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 86-90. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

设施农业在中国的兴起及快速发展, 彻底解决了“菜篮子”问题, 保证了蔬菜的周年供给。蔬菜产量的逐年增加不仅满足了中国人口对蔬菜的消费需求, 而且蔬菜出口成为农产品走向国际市场的一大亮点。在农业部发布的“蔬菜市场形势分析报告”中显示, 在蔬菜出口贸易中, 2005年鲜冷冻蔬菜和加工保藏蔬菜出口分别占蔬菜出口总量的60.06%和34.98%, 创汇金额占蔬菜出口金额的39.55%和41.63%; 2006年鲜冷冻蔬菜和加工保藏蔬菜分别占蔬菜出口总量的60.52%和34.33%, 创汇金额占蔬菜出口金额的41.83%和39.55%。由此可见蔬菜加工业在蔬菜国际贸易中所占据的重要地位。然而, 中国蔬菜加工起步较晚, 技术及设备均处于初级发展阶段, 蔬菜加工量不足蔬菜产量的10%。近年来, 随着蔬菜加工产业得到重视以及蔬菜加工对技术装备要求的提高, 蔬菜加工设备的研究和开发工作得以开展, 蔬菜清洗设备的研究和开发也得到更多的关注<sup>[1-10]</sup>。

采用淹没水射流方式清洗蔬菜及其他农产品, 是近年来在国际上发展起来的一类新的清洗技术, 由于该清洗方式能够与清洗水的循环利用密切结合, 成为一种良好的清洗方式。该方式除可清洗分切蔬菜外, 还可对豆类、茄果类等蔬菜进行整菜清洗, 除蔬菜外还可进行

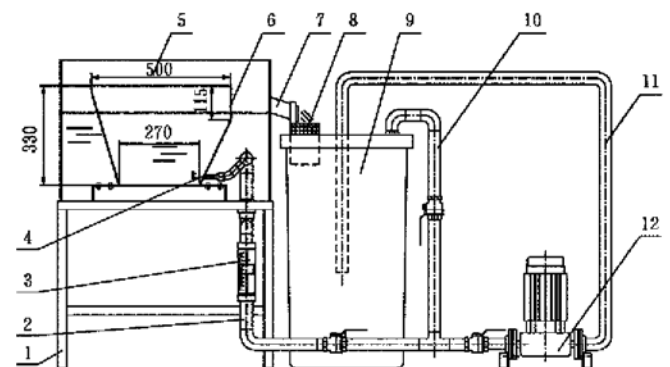
海藻类等海产品以及块状肉类的清洗。

本文通过设计和制作的试验装置, 以樱桃番茄为例, 对淹没水射流方式的清洗作用进行了研究。

## 1 清洗装置及工作原理

### 1.1 清洗试验装置

如图1所示, 淹没水射流清洗试验装置由贮水箱、清洗水箱、洗菜槽、射水口、溢流口、射水管路、分流管路、进水管路、流量计和水泵等组成。



1. 支架 2. 射水管路 3. 流量计 4. 射水口 5. 清洗水箱 6. 洗菜槽 7. 溢流口 8. 过滤网 9. 贮水箱 10. 分流管路 11. 进水管路 12. 水泵

图1 淹没水射流清洗试验装置系统图

Fig. 1 Sketch of submerged washing device for trial

本试验装置中, 清洗水箱为720 mm×580 mm×510 mm(长×宽×高), 由厚玻璃制成, 可以观察清洗过程。在图示的右侧面上端开有溢流口; 洗菜槽为梯形截面槽, 尺寸如图1所示, 由清洗水箱的前后两平面和带孔不锈钢板形成; 射水口是在射水管路上端的水平管上接出的分支管形成, 射水口直径为10 mm, 共分出4个

收稿日期: 2006-11-21 修订日期: 2007-01-12

基金项目: 农业部“948”项目(2005-Z43)

作者简介: 王 莉(1963-), 女, 高级工程师, 主要从事设施农业和果蔬加工领域技术装备的研究及工程设计咨询。北京市朝阳区麦子店街41号 农业部规划设计研究院, 100026。Email: wanglicaae@163.com

分支管,相邻分支管间隔 150 mm,形成 4 个射水口,均匀分布在洗菜槽下部。

水泵将贮水箱中的水抽吸到射水管路,通过射水口射向洗菜槽中。射水管路中安装有流量计和分流管路,调节从射水口射出水流量的大小。溢流口处安装过滤网,可以过滤掉随清洗水流出的固体悬浮物。

## 1.2 工作原理

蔬菜属生鲜食品,其主要成分是水 and 有机物,在一定条件下能保持生物活性,同时也是一类很易受外界物理、化学影响的脆弱物质。清洗蔬菜既要保持其品质不受损害,又要去除附着其上的杂质,使之达到卫生标准的要求。

蔬菜的清洗通常有清水清洗和果蔬专用清洗剂清洗两大类型<sup>[11]</sup>。用清水清洗的方法可以方便地将泥土及附着的动、植物夹杂物去除干净,但要把油性污垢和附着在清洗对象表面的寄生虫卵和微生物完全去除干净是困难的,必须在清洗水中加入果蔬专用清洗剂才可彻底清洗干净。用清水清洗蔬菜一般需要借助物理作用的配合,食品工业中常用的方法有喷射方法、摩擦力清洗方法、搅拌和研磨的方法、鼓风式清洗方法等。喷射方法是利用高压水喷射直接作用到清洗原料上,清洗原料在旋转的金属网内或者在辊式输送带上可以上下翻滚,通过喷射水流对原料的冲刷作用进行清洗,其缺点是可能造成清洗对象外表的损伤。摩擦力清洗方法是先将原料浸泡,然后通过一个带有旋转的软质橡胶圆盘的通道,利用圆盘与原料的摩擦作用使附着污垢被清除,再用清水对原料进行冲洗。搅拌和研磨的方法是利用强力搅拌和研磨的作用对原料进行脱皮和清洗,通常用于马铃薯、甜菜的清洗。鼓风式清洗的原理是利用鼓风机向清洗槽中送进空气,使清洗水产生剧烈的翻动,水中的原料也产生翻滚运动,加速污物从原料上洗去。

淹没水射流方式清洗的工作原理是:具有一定速度的水从射水口射入,使得洗菜槽中的水进行涡旋似的流动<sup>[12]</sup>,当蔬菜放入到洗菜槽后,随水一起进行运动,使得蔬菜在水中处于搅动状态,促使蔬菜与水以及蔬菜与蔬菜之间产生摩擦和碰撞,将蔬菜表面的泥土清洗掉。

## 2 试验材料与方法

樱桃番茄是淹没水射流清洗方式可以清洗的蔬菜之一,本试验以樱桃番茄为清洗材料对设备的清洗特性进行研究。试验用樱桃番茄为农贸市场一次批量采购商品,品种不详,似红圣果,清洗前外表面较脏,形状近似为椭球形,大小不均匀,椭球短径范围 20~30 mm,长径范围 25~40 mm,单个果重 6~20 g。经测试,密度为 1.05 g/cm<sup>3</sup>,容重为 0.53 g/cm<sup>3</sup>。

### 2.1 清洗量与水流量的关系

淹没水射流方式清洗蔬菜时,蔬菜的运动状态取决于水槽中的水流状态<sup>[12]</sup>,水流状态取决于喷口射水流速。对于同种清洗原料而言,采用不同的清洗量和改变喷口射水流量都会改变原料的运动状态。

试验中改变樱桃番茄的清洗量和喷口射水流量,逐一试验并录像记录。清洗量试验范围 3~33 kg,试验记录间隔 1 kg;喷口射水流量改变范围 2600~5800 L/h,试验记录间隔 400 L/h。

对录像记录进行逐一分析,将全部樱桃番茄处于运动状态的情况视为可清洗状态,将有樱桃番茄出现滞留的情况视为不可清洗状态。如图 2 为不同清洗量和水流量下樱桃番茄运动状态的记录示例,a、c 为原料在水中处于静止状态,b、d 为原料在水中处于运动状态。

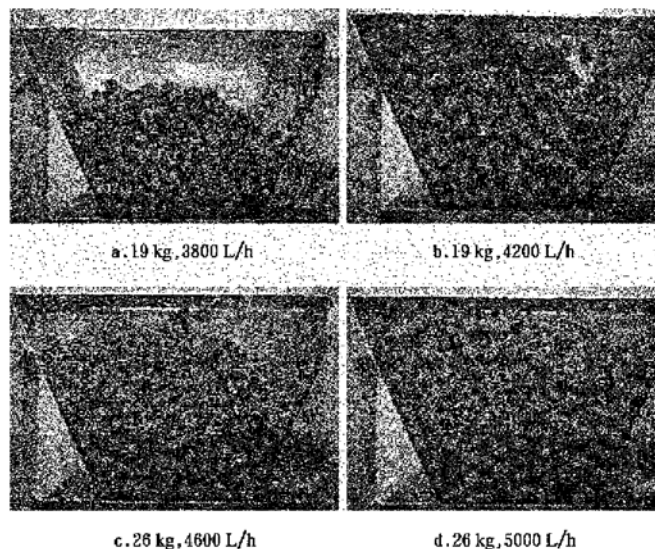


图2 樱桃番茄清洗状态示例

Fig. 2 Photos showing cherry tomatoes in washing

### 2.2 清洗量与洗净程度的关系

蔬菜的洗净程度说明了蔬菜清洗作用的效果,目前尚无客观量化指标对其进行评价,采用的仍是视觉观察的方法。不同蔬菜由于种植方式不同、在生长过程中所处的位置不同,以及收获方式的不同,原料的脏污程度和易污染部位有很大差异,用肉眼观察清洗后所表现的形式和呈现的结果也不同。同一蔬菜的洗净程度不仅与清洗方式和清洗设备的清洗作用有关,还与蔬菜的成熟度、蔬菜原料的脏污程度密切相关。

通过对樱桃番茄清洗前后的观察发现,清洗前樱桃番茄的脏污表现为泥土在外表面的无规律附着,如图 3a 所示,人工进行拣选时很容易弄脏手。樱桃番茄用水(无刷洗作用或洗涤剂作用)进行清洗之后,遗留的污渍多在柄蒂周围,在无水状态下手工擦除遗留污渍较为困

难,人工进行拣选时无任何弄脏手的迹象。

本试验采用一次采购原料,将不同箱装原料进行了混合,可视同为具有同等脏污程度。试验中对清洗后原料进行采样,在样品范围内逐个进行观察,计量洗净果

与未洗净果的重量,计算洗净率。本试验以有无污渍在表面遗留作为洗净与未洗净的判定标准。洗净果指无任何污渍遗留在表面,见图 3b,否则均算做未洗净果,见图 3c。

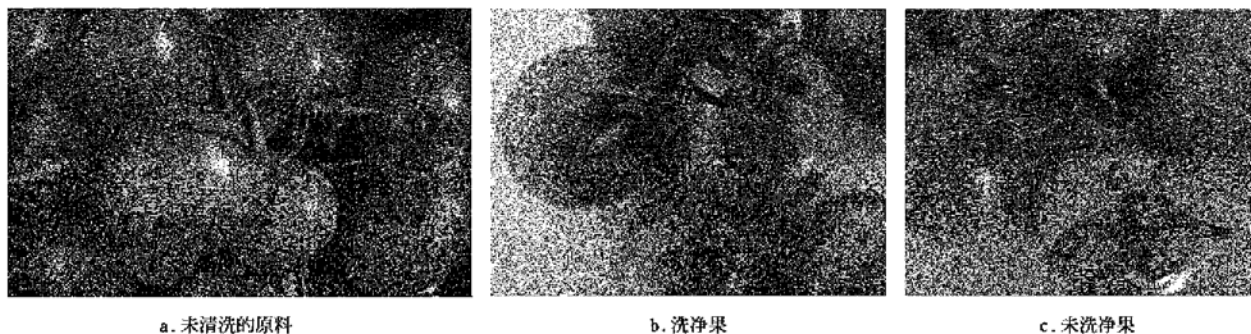


图3 樱桃番茄清洗效果的比较  
Fig. 3 Photos showing washing effects

本试验进行了不同清洗量下的洗净率测试,采用的射水流量均为 5800 L/h,清洗时间均为 3 min,每次试验均清洗试验装置和重新换水。

对洗净程度进行了试验和记录外,还对清洗前后番茄上柄蒂的存留状况和材料的破损状况进行了观察记录。试验前,原料逐一挑选,去除破损原料,各试验组分别计量带柄和无柄原料质量。清洗试验后,再次进行拣选,计量挑出的破损果质量,并且再次分拣和计量带柄和无柄果质量。

### 2.3 清洗时间与洗净程度的关系

为了解清洗时间对洗净程度的影响,组织了另一次清洗试验,该试验为另一批次原料,成熟度和脏污程度都较上述试验原料要高。每次试验清洗量为 15 kg,射水流量为 5800 L/h,在原料放入清洗槽后的 1、3 和 5 min 进行采样,用与上述相同方法判断洗净和未洗净果后分别称重,3 次试验取平均值得出结果。

## 3 结果与分析

### 3.1 清洗量与最小水流量

试验观察发现,在相同原料质量下,调节射水流量可改变原料的运动状态。射水流量未达到某一量值时,原料在水中静止不动;射水流量达到一定量值后,单一原料在水中呈现出规则的行星运动,即在转动的同时随水的涡流做圆周运动,原料整体好似绕轴旋转。当射水流量较小时,原料易于偏向一侧运动,这在原料质量较小时表现明显,如图 4a 为原料质量 10 kg,射水流量 3400 L/h 时的运动状态。无论原料质量大小,提高射水流量,均会使原料布满整个水域空间运动,如图 4b 为原料质量 3 kg,射水流量 5800 L/h 时的运动状态。不仅如

此,提高射水流量,可提高原料在水中的运动速度。

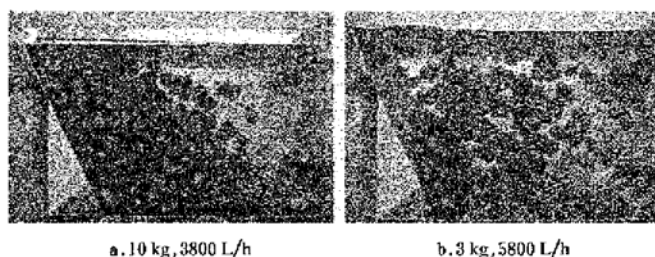


图4 射水流量对原料运动状态的影响  
Fig. 4 Photos showing status of tomatoes with different flow rates

最小射水流量指在该流量下,原料开始运动,并且所有原料均无滞留现象。对录像记录进行分析后,确定得出与清洗量对应的最小水流量值,并且采用 SigmaPlot 软件对其进行曲线拟合,其结果见图 5。最小水流量  $Q_{\min}$  与清洗量  $w$  符合如下关系

$$Q_{\min} = 2807 + 3.41w + 1.36w^2 \quad (1)$$

拟合曲线与试验数据的相关性为 0.994。

### 3.2 清洗量与适中水流量

虽然达到最小射水流量后,原料在水中处于搅动状态,可以起到清洗的作用,但不认为是推荐的适中水流量。本试验将适中水流量定义为原料在整个水域空间能够较好分布并达到适当的旋转速度时的最小射水流量,根据分析录像记录,判断确定与清洗量对应的值,同样通过曲线拟合,得出结果见图 5。适中水流量  $Q_{su}$  与清洗量  $w$  的关系为

$$Q_{su} = 3498 + 51.5w + 0.71w^2 \quad (2)$$

曲线与试验数据的相关性为 0.997。

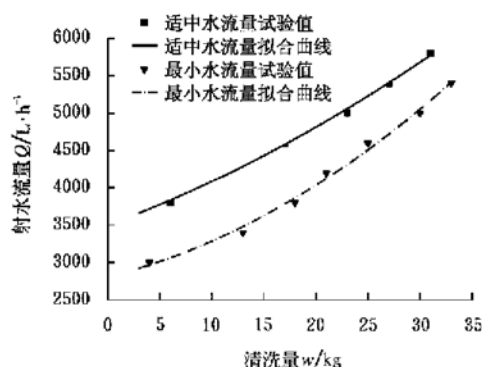


图5 清洗量与射水流量的关系

Fig. 5 Washing capacity as a function of flow rate for washing tomatoes

### 3.3 清洗量与洗净率

设每次采样观察记录的洗净果质量为  $w_c$ , 未洗净果质量为  $w_d$ , 洗净率  $\eta$  可计算如下:

$$\eta = \frac{w_c}{w_c + w_d} \quad (3)$$

对于不同清洗量的樱桃番茄进行清洗试验, 对3次采样结果进行算术平均, 其结果见表1。

表1 不同清洗量下的洗净率

Table 1 Spotless rate under different washing capacities

试验编号	1	2	3	4	5	6	7
清洗量 $w/\text{kg}$	5	10	15	20	25	27.5	30
洗净率 $\eta/\%$	65.5	69.3	69.4	67.6	69.7	66.8	54.6

从试验结果看, 在清洗量达到一定质量之前, 洗净程度不随清洗质量的改变有明显的变化, 也就是说在可清洗质量范围之内, 洗净率不会随清洗量的增加而下降。而可清洗质量由清洗槽的容积决定。对于一定容积的清洗槽, 可清洗质量也是最大清洗量, 可视为使得清洗率开始明显下降的最小清洗质量, 例如本试验的樱桃番茄的可清洗质量小于30 kg。计算可知, 30 kg 樱桃番茄占据的空间体积已经占到清洗槽容积的84%。由此可以推断, 最大清洗樱桃番茄的体积量应不高于清洗槽容积的80%为好。

另外, 仅采用机械方式清洗樱桃番茄, 还不足以彻底洗净, 为达到更好的清洗效果, 可以在清洗水中加入果蔬专用清洗剂, 通过表面活性作用增强去污能力, 使原料彻底清洗干净。

### 3.4 柄蒂脱落情况和破损率

在清洗过程中, 由于水的搅动作用和原料之间的相互碰撞, 不够牢固的柄蒂会从果上脱落, 也有可能使原料破损。柄蒂脱落和原料破损情况能够反映出原料在清洗过程中受力和运动的强烈程度, 以及清洗方式对于清

洗原料的适用性。

用柄蒂脱落率反映柄蒂的脱落情况, 柄蒂脱落率  $\tau$  表示为

$$\tau = \frac{w_{b1} - w_{b2}}{w} \quad (4)$$

式中  $w_{b1}$  和  $w_{b2}$ ——分别为清洗前和清洗后带柄果质量;  $w$ ——试验清洗量。试验结果见表2。

清洗过程中, 原料的破损程度用破损率表示, 本试验中破损率  $\varphi$  指清洗后破损果重  $w_p$  与清洗量  $w$  的比值。

$$\varphi = \frac{w_p}{w} \quad (5)$$

表2 柄蒂脱落率和破损率

Table 2 Stem shedding rate and damage rate

试验编号	1	2	3	4	5	6	7
清洗量 $w/\text{kg}$	5	10	15	20	25	27.5	30
柄蒂脱落率 $\tau/\%$	1.09	2.25	3.42	9.21	2.66	2.54	1.47
破损率 $\varphi/\%$	0.40	0.25	0.13	0.45	0.42	0.49	0.30

从柄蒂脱落率数据看, 在清洗量为20 kg 时出现了最大值, 这与录像记录分析的樱桃番茄运动状态的激烈程度结果一致。当清洗量较小时, 原料运动有足够空间, 虽然运动速度快, 但原料间的相互碰撞少; 当清洗量较大时, 原料运动空间有限, 运动速度明显放缓, 原料运动的强烈程度也随清洗量的增加而下降。从这里也可以看出, 为增强原料在清洗过程中的搅动, 可以适当减少清洗量, 而不是采用最大清洗量。

采用淹没水射流清洗方式清洗樱桃番茄, 出现的破损表现为开裂, 不存在可观察到的碰撞伤或擦伤。在非常成熟果中开裂是常见的破损现象。因此, 清洗破损率的大小与果实成熟度有关。本试验结果的破损率非常低, 在0.5%以下, 表明了该清洗方式非常适合樱桃番茄的清洗。

### 3.5 清洗时间与洗净效果

试验结果见表3。在一定的时间范围内, 随清洗时间的增加, 洗净率提高, 洗净效果得以改善; 超过一定时间范围, 继续增加清洗时间的作用不大。另外, 洗净效果还与原料的脏污程度有关, 原料越脏, 达到同等洗净程度所需要清洗的时间越长。对于樱桃番茄, 清洗时间控制在3~5 min 为宜。

表3 清洗时间与洗净率

Table 3 Relationship between washing time and spotless rate

清洗时间 $t/\text{min}$	1	3	5
洗净率 $\eta/\%$	41.5	64.8	67.9

## 4 结 论

淹没水射流清洗方式适合樱桃番茄的清洗,其清洗作用不会造成原料的破损。清洗运动状态取决于射水流量与清洗量,射水流量与清洗量之间满足二次线性关系,可根据樱桃番茄的清洗量确定设备的射水流量。设备的最大清洗量由清洗槽的容积决定,建议最大清洗量不超过清洗槽容积的 80%,在此清洗量范围内,清洗效果不会随清洗量的减少而改善,清洗 3 min 的洗净率为 60%~70%。洗净效果与原料的脏污程度有关,虽然增长清洗时间会提高原料的洗净效果,但为使原料彻底洗净又避免在水中长时间浸泡,最好在水中加入清洗剂配合清洗。

淹没水射流清洗方式是一种适合多种蔬菜的清洗方式,为摸索该方式清洗蔬菜的规律性,在本文研究结果的基础上,还需要通过其他蔬菜的清洗试验进行进一步的研究。

### [参 考 文 献]

- [1] 杨红兵,丁为民. 新型蔬菜清洗机的研制[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 92-96.
- [2] 李云飞,张青. 蔬菜清洗中气流强化作用研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(1): 97-104.
- [3] 高英武,刘毅君. 振动喷淋式蔬菜清洗机的研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 92-95.
- [4] Mulugeta E, Geyer M. Optimization of washing processes for vegetable and potatoes—development of washing nozzles in order to increase washing efficiency of vegetables and potatoes [R]. Germany: Institute of Agricultural Engineering Bornim, Paper number 036118, 2003 ASAE Annual International Meeting, 2003.
- [5] 袁巧霞,张华珍. GL-I 型根茎类蔬菜清洗机的研制[J]. 农机与食品机械, 1996, (3): 25.
- [6] 方迪. 滚筒式马铃薯清洗机的设计研究[J]. 森林工程, 2003, 19(6): 36-37.
- [7] 彭三河. 莲藕清洗装置的试验研究[J]. 包装与食品机械, 2005, 23(5): 6-7.
- [8] 郭俊先,努尔夏提·朱马西. 滚筒式饲用甜菜清洗机的清洗机理研究[J]. 农业机械, 2005, 0(6): 95-96.
- [9] 高翔,陆兆新,张立奎,等. 超声波气泡清洗鲜切西洋芹的应用研究[J]. 食品工业科技, 2003, 24(11): 27-29.
- [10] Mulugeta E, Geyer M. Characterising the washing processes of vegetables and potatoes [J]. Biosystems Engineering, 2005, 91(4): 441-453.
- [11] 康维. 食品工业清洗技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [12] 王莉. 淹没水射流清洗机清洗蔬菜的作用原理与运动分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 130-135.
- [13] 贺晓光,汤凤霞,李海峰. 清洗技术在食品生产上的应用现状[J]. 宁夏农学院学报, 2001, 22(1): 65-69.
- [14] 赵海燕. 中国蔬菜加工业的现状及其发展策略[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2005, 6(3): 9-11.
- [15] 许占林. 中国食品与包装工程装备手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.

## Experimental study on washing cherry tomatoes with submerged jets mechanism

Wang Li, Chen Qinshao

(Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100026, China)

**Abstract:** Experimental study on washing cherry tomatoes with submerged jets of water was carried out. Through experiment on various cleaning amount and jet flow rate, the relationship between the different influence factors on the submerged jets mechanism and the cleaning effect on cherry tomatoes was analyzed within the context of the developed testing method. The results show that the submerged jets mechanism is a good method for cherry tomatoes, because of the low damage rate and noticeable cleaning effect.

**Key words:** cherry tomato; washing; submerged jets of water