

文章编号:1673-1689(2009)03-0310-05

## FD 蔬菜块后续臭氧杀菌工艺

赵家丽<sup>1,3</sup>, 张 慇<sup>1,3</sup>, 孙金才<sup>2</sup>

(1. 食品科学与技术国家重点实验室 江南大学, 江苏 无锡 214122; 2. 海通食品集团有限公司, 浙江 慈溪 315300; 3. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

**摘 要:** 以某公司生产的 FD 蔬菜块为例, 将臭氧气体作为主要杀菌手段, 同时辅助以紫外照射的方法, 研究了杀菌过程中臭氧浓度、杀菌时间、紫外灯压等因素对杀菌效果的影响, 并对杀菌处理后的产品进行了品质考察。结果表明, 臭氧联合紫外辐照杀菌技术可有效杀死产品中的微生物, 将产品控制在安全范围以内, 且不破坏产品品质, 真正做到了杀菌彻底且无残留。

**关键词:** FD 蔬菜块; 臭氧; 紫外线; 杀菌

**中图分类号:** TS 255.3

**文献标识码:** A

## Ozone Sterilization Technique of the Evening of Freeze-Drying Vegetable Block Processing

ZHAO Jia-li<sup>1,3</sup>, ZHANG Min<sup>1,3</sup>, SUN Jin-cai<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Zhejiang Haitong Food Co., LTD, Cixi 315300, China; 3. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** The effect of concentrations of ozone gas, sterilization time, and the pressure of UV lamp on sterilization of the FD vegetables was studied. Then we took sensory evaluation in order to know the change of the product that has been deal with. As a result, The UV-assisted-ozone sterilization technology efficient kill the microbial in the products, and make the products more safety. Furthermore, The quality of product was not destoryed, just do the downright sterilization and without residue.

**Key words:** freeze-drying vegetable block, ozone, ultraviolet radiation, sterilization

FD 蔬菜块是近年兴起的一种方便食品, 其一般由 4 种以上的蔬菜经过调味混合后进行真空冷冻干燥加工而成。由于其产品成分复杂, 含水率低, 加工过程温度较低, 所以其微生物超标的问题一直没有得到很好解决。

目前, FD 蔬菜块常见的杀菌手段一般是产品生产结束后再进行回温处理, 虽然可以杀死一部分微生物, 但同时也会影响产品的风味品质。杀菌效果较好的持续电加热的巴斯德杀菌处理可以有效杀菌且不会破坏产品品质, 但会进一步提高产品成

收稿日期: 2007-11-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(20776062); 国家 863 计划重点项目(2007AA100406)。

\* 通讯作者: 张 慇(1962-), 男, 浙江平湖人, 工学博士, 教授, 博士生导师, 主要从事农产品贮藏与加工研究。

Email: min@jiangnan.edu.cn

本,从而使产品缺乏竞争力。所以,寻找一种有效、方便的杀菌技术很有必要。

臭氧杀菌处理时不需要加热,使用方便,价格低廉,气体的扩散性使得杀菌无死角,气体降解产物为氧气,杀菌处理后无残留<sup>[1-2]</sup>,杀菌时浓度很低,属于 $10^{-6}$ 级别。虽然臭氧气体具有强氧化性,但是也不会对产品品质造成不良影响<sup>[3-5]</sup>。紫外线杀菌属于冷杀菌技术,使用方便,成本低,而且在进行紫外辐照杀菌的同时,紫外灯中 185 nm 的谱线在空气中可产生臭氧,所以其与臭氧杀菌同时运用会有协同作用,可进一步提高杀菌效果<sup>[6-7]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

1.1.1 原料 某公司生产的 FD 蔬菜块(5 g 包装)。

1.1.2 主要试剂 琼脂粉、蛋白胨、牛肉浸膏、猪胆盐、乳糖、溴甲酚紫、NaOH、NaCl、KI、 $H_2SO_4$ 、 $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 、淀粉。

1.1.3 主要设备 臭氧发生器,济南楼方实业有限公司制造;SW-CJ-10 型洁净工作台,苏州净化设备厂制造;FA1104 型分析天平,上海天平仪器厂制造;电热恒温水浴锅,上海医疗器械五厂制造;2DX-35BI 型座式自动电热压力蒸汽灭菌锅,上海申安医疗器械厂制造;101-2-BS 型电热恒温鼓风干燥箱,上海跃进医疗器械厂制造;SPX 型智能生化培养箱,南京实验仪器厂制造。

### 1.2 工艺流程及工艺要点

#### 1.2.1 杀菌处理与检测工艺流程

待检样品→分块→装袋→通入臭氧气体并密封→二次装袋→通入臭氧气体并密封→置于紫外灯下 60 min→检测流程。

处理后的样品→配成均匀的菌液→逐步稀释→培养基培养(37℃、48 h)→计数→结果分析。

处理后的样品→配成均匀的菌液→逐步稀释→乳糖胆盐发酵液培养(37℃、48 h)→计数→结果分析。

#### 1.2.2 工艺要点

1) 分块,装袋:样品分块时在无菌工作台操作,用已经灭过菌的无菌剪刀将其尽可能均匀地一分为二,要求物料保持其完整性;分块后将其装入 9 cm×13 cm 的封口袋中,一个作为对照样,一个进行杀菌处理。

2) 通入气体:待臭氧发生器工作稳定后向封口袋中通入臭氧气体,边通入边封口;然后在此包装外套上一个 18 cm×24 cm 的封口袋,并通入臭氧

气体直至封口袋全部饱满鼓起为止,同时封口。

3) 紫外照射:将包装好的产品置于预工作 20 min 左右的紫外灯的正下方,距离不超过 1 m,持续处理 60 min。

4) 制菌液:杀菌结束后的样品用无菌剪刀剪碎,放入含有 22.5 mL 无菌水的无菌三角瓶中,充分混合振荡后过滤(滤纸与三角漏斗都经过紫外照射灭菌 30 min 以上),取滤液 1 mL(此为体积比 1:10 的稀释液)进行逐步稀释。

5) 倒培养基:倒培养基时要感觉培养基的温度很热但是不烫手为适(一般 50~60℃左右),且整个稀释与倒培养基的过程以不超过 20 min 为宜,以防细菌死亡。倒培养基时量要适宜,过多会增加后面计数的困难,过少会导致干裂,不利于细菌生长。

6) 发酵液:菌液量取 1 mL,采用单管乳糖胆盐发酵液,用量为 10 mL,制备时准确称取胆盐,因其作为一种抑菌剂,量的波动容易导致其内生长的大肠菌群的生长,从而造成假阳性或假阴性的出现。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 单一臭氧杀菌工艺

1) 臭氧处理时间对杀菌效果的影响:理论上,处理时间越长杀菌效果越好,通过控制同一臭氧浓度不同的处理时间,研究处理时间对杀菌效果的影响,确定较适合的处理时间。

2) 臭氧浓度对杀菌效果的影响:臭氧浓度是影响臭氧杀菌作用的一个重要因素,通过采用不同的浓度对样品进行相同时间的杀菌处理,确定较适合的臭氧杀菌浓度。

#### 1.3.2 臭氧杀菌与紫外辐照联合杀菌工艺

1) 联合杀菌方式对杀菌效果的影响:研究臭氧杀菌与紫外辐照的联合方式,分别采用先并联后单一,先单一后并联,一直并联以及一直串联等方式来研究杀菌效果。

2) 臭氧浓度、处理时间及紫外灯压对杀菌效果的影响:确定联合方式以后,分别研究这 3 个因素对杀菌效果的影响,确定因素水平表。

3) 最优杀菌工艺条件的确定:在前面的基础上,进行正交试验,以确定最优杀菌工艺条件。

1.3.3 杀菌处理后产品的品质 制定感官评分表,对处理后的产品进行感官评价,以研究杀菌处理对其品质变化的影响。

#### 1.3.4 主要检测指标

1) 微生物检测指标之一为菌落总数,采用平板计数法,参照 GB4789.2-1994 中的方法测定。试验结果为 3 次试验结果的平均值。

2) 微生物检测指标之二为 MPN(最大可能数)值,采用三稀释度九管法,参照 GB4789. 3-1994 的方法测定。试验结果为 3 次试验结果的平均值。

3) 感官评价指标为感官评分表,总分 45 分,低于 35 分可认为品质受到破坏<sup>[8-9]</sup>。

1.3.5 统计分析 正交试验采用直观分析法。

2 结果与讨论

2.1 单一臭氧杀菌工艺

2.1.1 处理时间对杀菌效果的影响 在相同的臭氧浓度下,通过控制不同的处理时间来研究杀菌效果,采用细菌总数为检测指标,因为在这个杀菌水平下,对大肠菌群的杀灭效果不明显,三稀释度九管法的培养结果均为阳性。在相同容器内进行杀菌处理试验,用臭氧发生器的工作时间来表示相对应的臭氧浓度,处理时间太短或太长时杀菌效果都不好,故最长选定为 60 min。表 1 显示的是臭氧发生器工作 10 s 后分别经过处理 20、30、60 min 后的实验结果。由表 1 可知:相同的臭氧浓度下,在一定范围内,处理时间越长,杀菌效果越好。当处理时间超过 60 min 时,杀菌效果没有太多增加,可能是由于该浓度下的臭氧气体经过 60 min 后其残留浓度已经没有多大杀菌作用了,故而再延长时间也不会增加多少杀菌效果。

表 1 不同处理时间对臭氧杀菌效果的影响

Tab. 1 Effect of the ozone sterilization in the different processing time

| 处理时间/<br>min | 稀释倍数  |         |          | 细菌总数/<br>(×10 000 个/g)<br>(处理样/对照样) |
|--------------|-------|---------|----------|-------------------------------------|
|              | 100 倍 | 1 000 倍 | 10 000 倍 |                                     |
| 20           | 26    | 24      | 20       | 9.064/25.144                        |
| 30           | 18    | 24      | 13       | 6.232/25.230                        |
| 60           | 16    | 20      | 10       | 4.864/25.091                        |
| 90           | 15    | 19      | 10       | 4.017/25.005                        |

2.1.2 臭氧浓度对杀菌效果的影响 臭氧浓度也是影响臭氧杀菌效果的重要因素。在相同处理时间下,通过控制不同的臭氧浓度,来研究其浓度对杀菌效果的影响。虽然臭氧杀菌是瞬时发生,但随着杀菌时间的延长,臭氧浓度会逐渐降低,当臭氧气体低于某一浓度时就不会有杀菌作用。表 2 显示了在固定杀菌处理时间 60 min 的前提下,臭氧发生器工作 3、5、7 min 后进行杀菌处理的结果。仍使用细菌总数作为微生物检测指标。由表 2 可知:当固定处理时间,在一定范围内,臭氧浓度越大杀菌效果越明显,当臭氧发生器工作时间再延长时,杀

菌效果却没有向好变化。

表 2 不同臭氧浓度对杀菌效果的影响

Tab. 2 Effect on the ozone sterilization of the different ozone concentration

| 臭氧工作<br>时间/<br>min | 稀释倍数  |         |          | 细菌总数/<br>(×10 000 个/g)<br>(处理样/对照样) |
|--------------------|-------|---------|----------|-------------------------------------|
|                    | 100 倍 | 1 000 倍 | 10 000 倍 |                                     |
| 3                  | 379   | 203     | 92       | 46.436/322.292                      |
| 5                  | 134   | 69      | 34       | 16.896/323.000                      |
| 7                  | 76    | 60      | 44       | 20.304/289.768                      |

2.2 臭氧杀菌与紫外辐照联合杀菌工艺

2.2.1 联合杀菌方式对杀菌效果的影响 分别在相同的臭氧质量浓度和紫外灯压下(0.48 mg/L、180 V),研究不同的联合杀菌方式对细菌总数和大肠菌群的杀菌效果(细菌总数采用杀菌倍数,大肠菌群采用 MPN 值计算的杀菌倍数),结果如表 3 所示。由表 3 可知,以两项指标来考察,发现并联的联合杀菌方式效果较好,这是由于紫外辐照与臭氧杀菌进行并联工作时,具有紫外线对臭氧气体的协同作用,从而大幅提高杀菌效果。因此选定联合杀菌方式为并联。

表 3 不同联合杀菌方式对杀菌效果的影响

Tab. 3 Effect on the sterilization of the different joint methods

| 联合方式       | 时间分配/min           | 细菌总数<br>(杀菌倍数) | 大肠菌群<br>(杀菌倍数) |
|------------|--------------------|----------------|----------------|
| 串联         | 20 臭氧+20 紫外        | 15             | 40             |
|            | 20 紫外+20 臭氧        | 12             | 30             |
| 先单一后<br>并联 | 20 臭氧+<br>20 紫外/臭氧 | 20             | 60             |
| 先并联<br>后单一 | 20 紫外/臭氧+<br>20 臭氧 | 25             | 80             |
| 并联         | 40 紫外/臭氧           | 40             | 160            |

2.2.2 臭氧质量浓度、处理时间及紫外灯压对杀菌效果的单因素试验

通过 3 组单因素试验(结果见表 4)知道:在一定质量浓度范围内,臭氧质量浓度与杀菌效果成正比,且最佳的臭氧杀菌质量浓度为 0.84 mg/L,其次为 0.48 mg/L;在一定时间范围内,处理时间与杀菌效果也成正比,最适当的处理时间为 60 min,超过 60 min 或短于 60 min 的杀菌效果都没有 60 min 的好;在一定压力范围内,紫外灯辐照压与杀菌效果也成正比,最有效的紫外灯压为 220 V,其次为 200 V。

表 4 3 个影响因素单因素试验结果

| Tab. 4 Results of every factor |                   |                |                |
|--------------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| 因素                             | 处理条件              | 细菌总数<br>(杀菌倍数) | 大肠菌群<br>(杀菌倍数) |
| 臭氧质量浓度                         | 0.36 mg/L         | 15             | 30             |
|                                | (180 V, 0.48 mg/L | 22             | 34             |
|                                | 30 min) 0.84 mg/L | 30             | 80             |
| 处理时间                           | 30 min            | 30             | 80             |
|                                | (180 V, 60 min    | 42             | 85             |
|                                | 0.84 mg/L) 90 min | 33             | 82             |
| 紫外灯压                           | 180 V             | 42             | 85             |
|                                | (0.84 mg/L, 200 V | 44             | 89             |
|                                | 60 min) 220 V     | 40             | 120            |

2.2.3 最优杀菌工艺条件的确定 根据单因素试验结果可以确定如表 5 的因素水平表。通过前面的试验可知,杀菌处理后的样品细菌总数很容易控制在 1 000 个/g 以内,而大肠菌群大部分情况下都很难保证为阴性。故而,正交试验选定大肠菌群为考察指标(采用 MPN 值来估计杀菌倍数),结果只是表现一个趋势,并不能作为精确的杀菌倍数。根据表 5 进行正交试验,结果如表 6 所示。

表 5 臭氧-紫外联合杀菌因素水平

Tab. 5 Factor level table of ozone- ultraviolet radiation sterilization

| 水平 | 因素                        |                    |              |
|----|---------------------------|--------------------|--------------|
|    | 初始臭氧<br>质量浓度 A/<br>(mg/L) | 处理<br>时间 B/<br>min | 紫外<br>灯压 C/V |
| 1  | 0.36                      | 40                 | 180          |
| 2  | 0.48                      | 60                 | 200          |
| 3  | 0.84                      | 90                 | 220          |

表 6 臭氧-紫外联合杀菌试验结果

Tab. 6 Results of ozone- ultraviolet radiation sterilization

| 水平     | 因素             |            |            | MPN 值 |
|--------|----------------|------------|------------|-------|
|        | 初始臭氧<br>质量浓度 A | 处理<br>时间 B | 紫外<br>灯压 C |       |
| 1      | 1              | 1          | 1          | 67.6  |
| 2      | 1              | 2          | 2          | 160.0 |
| 3      | 1              | 3          | 3          | 40.0  |
| 4      | 2              | 1          | 2          | 126.0 |
| 5      | 2              | 2          | 3          | 220.0 |
| 6      | 2              | 3          | 1          | 120.0 |
| 7      | 3              | 1          | 3          | 20.0  |
| 8      | 3              | 2          | 1          | 60.0  |
| 9      | 3              | 3          | 2          | 267.7 |
| 均值 I   | 89.233         | 71.233     | 82.567     |       |
| 均值 II  | 155.333        | 146.667    | 184.567    |       |
| 均值 III | 115.900        | 142.567    | 93.333     |       |
| 极差     | 66.100         | 75.434     | 102.000    |       |

由表 6 可知,最优杀菌工艺条件为 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>,也就是初始臭氧质量浓度 0.48 mg/L,处理时间 60 min,紫外灯压 200 V。而 3 个因素对杀菌效果影响的主次关系为 C>B>A。

由于该正交试验的考察结果是大肠菌群最有可能的杀灭倍数,在计算杀菌倍数的同时还应观察大肠菌群检测结果是否为阴性,综合考虑,选取已达标为阴性的试验 5 和试验 9 的杀菌条件以及最优杀菌工艺条件,来测定另一微生物指标细菌总数。结果如表 7 所示。由表 7 可知,这 3 组处理条件中,以第 3 组的杀菌效果最好,与正交试验结果吻合。

经验证试验,初始臭氧质量浓度 0.48 mg/L,紫外灯压 200 V,处理时间 60 min 为最优杀菌工艺条件。

表 7 细菌总数指标的检测结果

Tab. 7 Result of the study on the total bacterial

| 实验 | 杀菌条件                |              |            | 细菌总数<br>(杀菌倍数) |
|----|---------------------|--------------|------------|----------------|
|    | 初始臭氧质量<br>浓度/(mg/L) | 处理时间/<br>min | 紫外灯压/<br>V |                |
| 1  | 0.48                | 60           | 220        | 40             |
| 2  | 0.84                | 90           | 200        | 15             |
| 3  | 0.48                | 60           | 200        | 60             |

2.3 杀菌处理对产品品质的影响

由于感官质量反映了食品与人的感觉器官的关系<sup>[11]</sup>,所以采用了感官评价作为主要的评价指标。对采用最优杀菌工艺条件处理后的样品进行感官评价,以研究其品质变化。根据该产品的特点,设定的感官评分表如下表 8。依据表 8,对杀菌处理后的产品打分,结果见表 9。

表 8 感官评分表

Tab. 8 Table of sensory score

| 项目   | 感官质量            | 评分  |
|------|-----------------|-----|
| 风味   | 蔬菜清香味浓郁,无异味     | 7~9 |
|      | 蔬菜清香味淡薄,无异味     | 4~6 |
|      | 几乎无蔬菜清香味,或有异味   | 1~3 |
| 复水速率 | 复水迅速均匀,用时较短     | 7~9 |
|      | 复水缓慢均匀          | 4~6 |
|      | 复水较慢,不均匀,有结块现象  | 1~3 |
| 色泽   | 色泽正常鲜明,均能恢复本来颜色 | 7~9 |
|      | 色泽正常,颜色可区分      | 4~6 |
|      | 发生褐变或色泽昏暗       | 1~3 |
| 口感   | 口味均一,汤味浓郁       | 7~9 |
|      | 口味均一,汤味清淡       | 4~6 |
|      | 有异味             | 1~3 |
| 组织状态 | 分布均一,复水后产品有韧性   | 7~9 |
|      | 分布均一,复水后产品略微发软  | 4~6 |
|      | 产品易软烂,蔬菜结构松散    | 1~3 |

表 9 感官评分结果

Tab.9 Results of sensory score

| 实验号 | 因素水平           |            |            | 感官得分 |
|-----|----------------|------------|------------|------|
|     | 初始臭氧<br>质量浓度 A | 处理<br>时间 B | 紫外<br>灯压 C |      |
| 1   | 1              | 1          | 1          | 44   |
| 2   | 1              | 2          | 2          | 43   |
| 3   | 1              | 3          | 3          | 42   |
| 4   | 2              | 1          | 2          | 41   |
| 5   | 2              | 2          | 3          | 40   |
| 6   | 2              | 3          | 1          | 39   |
| 7   | 3              | 1          | 3          | 40   |
| 8   | 3              | 2          | 1          | 39   |
| 9   | 3              | 3          | 2          | 38   |
| 10  | 2              | 2          | 2          | 41   |

由表 9 可知,10 组处理条件对于处理后产品感官品质的影响差别不大,最低分为 38 分,也就是几乎无不良影响。故此,采用本文确定的最优杀菌条件处理产品,不会破坏产品的品质或风味。

## 参考文献(References):

- [1] 迟永军. 臭氧-在食品加工空间灭菌方面的应用[J]. 食品安全, 2004(7):50.  
CHI Yong-jun. Ozone - Application in the air sterilization in food plant[J]. *Food Safety*, 2004(7):50. (in Chinese)
- [2] Kirstie D Andrews, John A Hunt, Richard A Black. Effects of sterilisation method on surface topography and in-vitro cell behaviour of electrostatically spun scaffolds[J]. *Biomaterials*, 2006(10): 1014-1026.
- [3] 林爱红, 饶健, 秦彦珉, 等. 臭氧杀菌效果的影响因素分析[J]. 湖北预防医学杂志, 2002(6): 7-8.  
LIN Ai-hong, RAO Jian, QIN Yan-min, et al. The analyse of the factors of ozone sterilization[J]. *Hubei Medicine Defend Magazine*, 2002(6): 7-8. (in Chinese)
- [4] 四川奶业编辑部. 臭氧杀菌简介[J]. 四川奶业, 2005(2): 19-22.  
Editorial Department of Sichuan Milk. Brief introduction of ozone sterilization[J]. *Sichuan milk*, 2005(2):19-22. (in Chinese)
- [5] 李涛, 谭欣, 赵林. 臭氧消毒的控制参数选取和数学模型[J]. 工业用水与废水, 2005(1): 35-37.  
LI Tao, TAN Xin, ZHAO Lin. Selection of control parameters for disinfection by ozone and mathematical model thereof [J]. *Industrial water & wastewater*, 2005(1): 35-37. (in Chinese)
- [6] 祁景琨. 紫外灯的应用与检测[J]. 实验动物科学与管理, 2005(6): 54-55.  
QI Jing-kun. Application and detect of UV lamp[J]. *Laboratory animal science and management*, 2005(6): 54-55. (in Chinese)
- [7] 诸定昌, 赵轶. 紫外杀菌在食品工业中的应用[J]. 加工技艺, 2003(12): 53-54.  
ZHU Ding-chang, ZHAO Yi. UVC disinfection on food industry[J]. *Processing*, 2003(12): 53-54. (in Chinese)
- [8] 林宇山. 感官评价在食品工业中的应用[J]. 食品工业科技, 2006(8): 202-203.  
LIN Yu-shan. The application of sensory evaluation in food industry[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2006(8): 202-203. (in Chinese)
- [9] 邵春风. 感官评价在食品中的研究进展[J]. 肉类工业, 2006(6): 35-36.  
SHAO Chun-feng. Development of study on sensory evaluation in food[J]. *Meat industry*, 2006(6):35-36. (in Chinese)
- [10] 邹丽, 吴正江. 感官评价过程中语言值的转化[J]. 辽宁师范大学学报: 自然科学版, 2006(6): 139-141.  
ZOU Li, WU Zheng-jiang. Transformation of linguistic truth value during the sensor evaluation procedure[J]. *Journal of Liaoning Normal University: Natural Science Edition*, 2006(6): 139-141. (in Chinese)
- [11] 安红周. 挤压法制备营养方便米品质[J]. 食品与生物技术学报, 2005(3): 22-26.  
AN Hong-zhou. Study on the quality of nutrition-fortification instant rice using extrusion processing[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2005(3):22-26. (in Chinese)

(责任编辑: 秦和平, 朱明)

## 3 结 语

1) 臭氧处理对样品中的微生物有一定的杀灭作用, 且同臭氧浓度下, 处理时间越长, 杀菌效果越明显; 在一定的臭氧浓度范围内, 处理时间相同时, 浓度越高, 杀灭效果越明显。

2) 臭氧和紫外辅助处理杀菌效果比普通的臭氧杀菌处理或单纯的紫外照射处理效果要好, 对于按冷冻干燥操作规范生产的 FD 蔬菜汤料进行处理, 可以将其微生物残留数量控制在安全范围内; 这一结论也可以推广到其他的 FD 蔬菜产品。

3) 最优杀菌工艺参数为: 臭氧质量浓度 0.48 mg/L, 紫外灯压 200 V, 处理时间 60 min。杀菌处理后产品的细菌总数可以控制在 1 000 个/g 以内, 大肠菌群检测结果为阴性; 且处理后的产品风味、口感、组织状态和复水情况等基本无变化。