

# 臭氧处理对番茄果实贮藏品质和芳香物质的影响

罗丹<sup>1</sup>, 梁芸志<sup>1</sup>, 陈存坤<sup>2</sup>, 吴昊<sup>1</sup>, 荆琳<sup>1</sup>, 潘映鸿<sup>1</sup>, 王成荣<sup>1\*</sup>

- (1. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 青岛市园艺植物遗传改良与育种重点实验室, 青岛 266109;  
2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心, 农业部农产品贮藏保鲜重点实验室, 天津市采后生理重点实验室, 天津 300384)

**摘要:** **目的** 研究不同浓度臭氧处理对番茄贮藏期转色、生理变化及香气成分的影响。**方法** 以青番茄为实验材料, 采用微孔膜包装, 每隔3 d采用多功能果菜消毒机处理番茄1 h, 使臭氧浓度达到2.07、6.20、10.34 mg/m<sup>3</sup>(以空气计), 10 °C恒温贮藏。用气相色谱-质谱联用仪测定其香气成分。**结果** 通入10.34 mg/m<sup>3</sup>臭氧气体的番茄果实贮藏效果最好, 呼吸高峰延迟出现, 呼吸强度降低, 显著提高了番茄的贮藏保鲜效果。贮藏12 d时, 与对照组相比, 2.07、6.20、10.34 mg/m<sup>3</sup>臭氧处理的芳香物质种类分别减少10.00%、15.00%、17.50%。

**结论** 臭氧处理能有效提高番茄的贮藏品质, 并对番茄果实香气有抑制作用。

**关键词:** 臭氧; 番茄; 保鲜; 品质

## Effects of ozone treatment on storage quality and aroma substances of tomato fruits

LUO Dan<sup>1</sup>, LIANG Yun-Zhi<sup>1</sup>, CHEN Cun-Kun<sup>2</sup>, WU Hao<sup>1</sup>, JING Lin<sup>1</sup>, PAN YING-Hong<sup>1</sup>,  
WANG Cheng-Rong<sup>1\*</sup>

- (1. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao Key Laboratory of Genetic Improvement and Breeding on Horticultural Plants, Qingdao 266109, China; 2. National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Key Laboratory of Fresh-keeping of Agricultural Products, Ministry of Agriculture, Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the effects of different concentrations of ozone treatment on the color changes, physiological changes and aroma components of tomatoes during storage. **Methods** Green tomatoes were used as the experimental material and packed with microporous membrane. A multifunctional fruit and vegetable disinfectant was used to treat tomatoes 1 h every 3 days, and then the ozone concentrations reached 2.07, 6.20 and 10.34 mg/m<sup>3</sup> (air gauge), and stored at 10 °C at constant temperature. The aroma components were determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). **Results** The storage effect of tomatoes with 10.34 mg/m<sup>3</sup> ozone gas was the best, the respiration peak was delayed, the respiration intensity was decreased, and the storage effect of

**基金项目:** 山东省农业重大应用技术创新项目子课题(SDNYCX-2015-ZD06-02)、国家自然科学基金青年基金(31401549)、山东省现代蔬菜产业技术体系(SDAIT-05-21)、国家星火计划重点项目(2015GA610006)、天津市科技计划项目(13ZXCXNC02800)和天津市科技计划项目(12TXGCCX00400)

**Fund:** Supported by Shandong Province Agricultural Major Technology Innovation Project (SDNYCX-2015-ZD06-02), The Youth Foundation of National Natural Science Foundation of CHina (31401549), The Modern Vegetable Industry Technology System of Shandong Province (SDAIT-05-21), The Key Project of the National Spark Program (2015GA610006), Tianjin City Science and Technology Project (13ZXCXNC02800) and Tianjin City Science and Technology Project (12TXGCCX00400)

\***通讯作者:** 王成荣, 硕士, 教授, 主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: qauwcr@126.com

\***Corresponding author:** WANG Cheng-Rong, Master, Professor, College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China. E-mail: qauwcr@126.com

tomatoes was improved remarkably. When stored for 12 d, compared with the control group, the aromatic species of 2.07, 6.20 and 10.34 mg/m<sup>3</sup> ozone treatment groups reduced by 10%, 15% and 17.50%, respectively. **Conclusion** Ozone treatment can effectively improve the storage quality of tomatoes and inhibit the aroma of tomato fruits.

**KEY WORDS:** ozone; tomato fruit; preservation; quality

## 1 引言

番茄在世界范围内广泛种植, 现已成为全世界年总产量最高的农产品之一。番茄营养丰富, 内含有番茄红素、胡萝卜素等, 其维生素含量为蔬菜之冠, 经常食用不仅可以为人们提供多种天然维生素, 且具有一定的强身健体作用<sup>[1,2]</sup>。但是, 番茄属于典型的呼吸跃变型果蔬, 采后易腐烂, 贮藏和运输过程中容易造成挤压裂果, 易被外部污染发生品质劣变, 大大降低其安全性、营养性和商品性<sup>[3]</sup>。因此, 番茄贮藏保鲜的研究非常重要。

目前, 番茄贮藏保鲜主要采用低温贮藏、气调贮藏、保鲜剂溶液浸泡等保鲜方法。臭氧气体保鲜具有无残留、无污染、高效和抑菌等优点<sup>[4-6]</sup>, 已应用于杏鲍菇<sup>[7]</sup>、甜瓜<sup>[8]</sup>、金丝枣<sup>[9]</sup>和葡萄<sup>[10]</sup>等研究, 都取得了较好效果。目前对臭氧处理番茄保鲜的研究较少, 且对臭氧处理后番茄芳香物质的影响鲜有报道。本研究采用臭氧并结合微孔膜包装对新鲜青番茄进行保鲜处理, 通过比较保鲜品质, 以期对番茄的臭氧保鲜技术提供参考。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

实验所用绿熟番茄采购自天津郊区农贸市场, 及时运回天津国家保鲜工程技术中心。微孔膜采用国家农产品保鲜工程技术研究中心自主研发, 规格为 70 cm×70 cm。

### 2.2 仪器

电子天平 FA1004Y040(上海菁海仪器有限公司); 精密色差仪 WR-10(深圳市威福光电科技有限公司); 紫外可见分光光度计 UV-1780(岛津仪器(苏州)有限公司); PBI-200616-E便携式气体测定仪(丹麦 PBI-Dansensor 公司); Trace DSQ GC-MS 联用仪(美国 Finnigan 公司); CAR/DVB/PDMS 萃取头和固相微萃取手柄(美国 Supleco 公司); 全自动臭氧机(北京海美钜电器有限公司)。

### 2.3 番茄样品处理

选取色泽一致、大小均匀、无病虫害的果实将其分为 4 组, 分别置于全自动臭氧机中, 用 2.07, 6.20, 10.34 mg/m<sup>3</sup> 的臭氧处理 1 h, 对照组不经过臭氧处理。将臭氧处理过的番茄采用规格为 70 cm×70 cm 的微孔膜进行包装, 然后置于 10 °C 冷库中贮藏, 采收当天各指标分别测定 1 次, 之后每隔 3 天测定 1 次, 每次测定重复 3 次, 取平均值。

## 2.4 指标测定方法

### 2.4.1 呼吸强度的测定

参考 Dharinis 等<sup>[11]</sup>的方法, 用静置法测定呼吸强度。

### 2.4.2 番茄表面颜色测定

参考谢芳等<sup>[12]</sup>的方法, 采用 WR-10 精密色差仪, *a* 有正负之分, +*a* 表示红色, -*a* 表示绿色。

### 2.4.3 叶绿素含量测定

参考曹建康等<sup>[13]</sup>的方法测定叶绿素含量。

### 2.4.4 芳香物质的分析

参考张鹏等<sup>[14]</sup>的方法, 采用固相微萃取(solid-phase microextraction, SPME)-气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)测定。

## 2.5 数据处理及统计方法

采用 Origin 8.0 绘图及进行线性回归分析, 采用 SPSS 17.0 对数据进行统计分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 臭氧处理对番茄果实呼吸强度的影响

由图 1 可知, 不同臭氧浓度处理的番茄果实呼吸强度呈先上升后下降的趋势, 但是达到呼吸高峰所需贮藏时间不同, 且达到的呼吸高峰值也不同。对照组在贮藏第 6 d 达到了呼吸高峰, 呼吸峰值为 26.20 CO<sub>2</sub> mg/(kg·h), 而 10.34 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理将呼吸高峰推迟到第 9 d, 呼吸高峰值下降 20.97 CO<sub>2</sub> mg/(kg·h), 峰值下降了 19.96% (*P*<0.05)。因此, 采用臭氧处理可显著降低番茄果实呼吸强度, 抑制绿熟番茄果实的采后呼吸, 更好地保持番茄果实的贮藏品质。

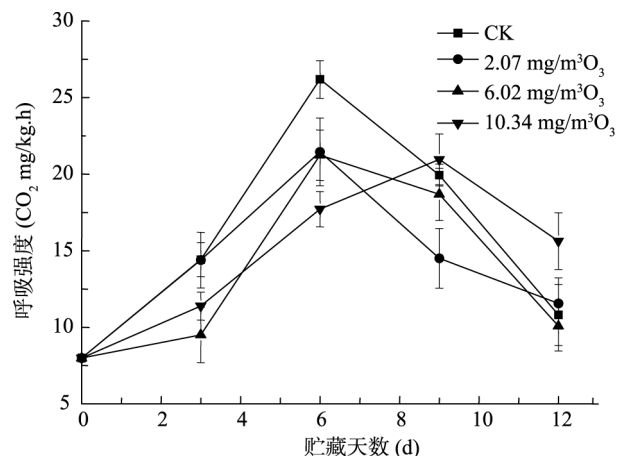


图 1 臭氧处理对番茄果实呼吸强度的影响(*n*=3)

Fig. 1 Effect of ozone treatment on respiration rate of tomato fruits (*n*=3)

### 3.2 臭氧处理对番茄果实色差的影响

精密色差仪测定的  $a$  值反映番茄果实的红绿。 $a$  有正负之分,  $+a$  表示红度,  $-a$  表示绿度。从图 2 可以看出, 在第 12 d 时, 对照组番茄果实  $a$  值为+0.4867, 表示对照组番茄果实以从绿色转为红色。而 10.34 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理的番茄果实  $a$  值为-0.92, 说明番茄果实颜色仍为绿色, 与对照组处理相比差异显著( $P<0.05$ )。2.07、6.20 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理组番茄果实  $a$  值分别为 0.05、-0.21, 说明臭氧浓度越高, 对番茄果实的颜色影响越大。

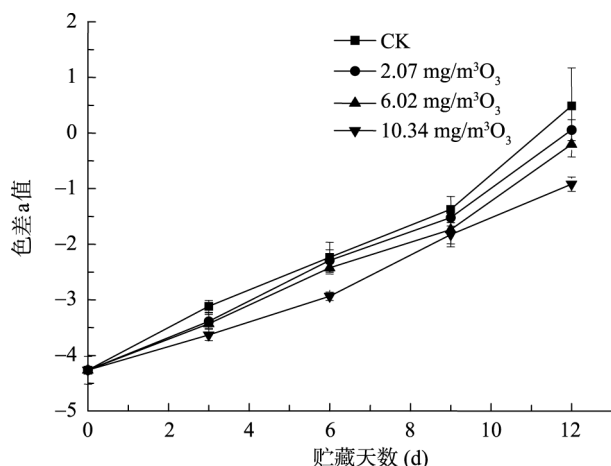


图 2 臭氧处理对番茄果实色差的影响(n=3)  
Fig. 2 Effect of ozone treatment on color of tomato fruits (n=3)

### 3.3 臭氧处理对番茄果实叶绿素含量的影响

叶绿素是评价果实品质的重要指标之一。番茄果实在成熟过程中, 叶绿素含量下降, 果实由绿色变为红色。由图 3 可知, 在贮藏过程中, 番茄果实叶绿素含量逐渐下降, 与色差结果一致。10.34 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理组叶绿素含量显著高于对照组( $P<0.05$ ), 说明臭氧处理可减缓绿熟番茄果实中叶绿素含量的降解, 使绿熟番茄在贮藏期间保持更好的颜色和品质。

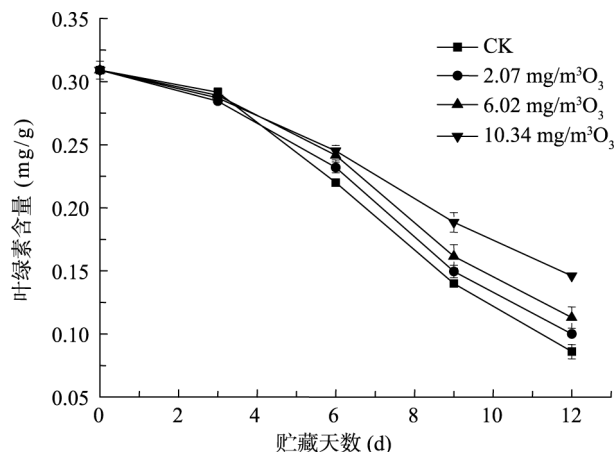


图 3 臭氧处理对番茄果实叶绿素含量的影响(n=3)  
Fig. 3 Effect of ozone treatment on chlorophyll content of tomato fruits (n=3)

### 3.4 固相微萃取-气相色谱-质谱对番茄果实芳香物质的分析

顶空 SPME-GC-MS 分析的番茄果实芳香物质相对含量(以相对峰面积计)、化合物名称结果如表 1。番茄果实的主要特征香气成分有己醛、反式-2-己烯醛、2-甲基环戊醇、1-庚三醇、十八烷醛酸等。不同处理番茄果实芳香物质种类存在一定差异性, 其组成及相对含量在贮藏期内发生相应变化。番茄果实臭氧保鲜贮藏后共提取出 5 大类(包括酯类、醛类、醇类、酮类和其他)共 65 种芳香物质, 对照共检出 40 种芳香物质, 2.07 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理共检出 36 种芳香物质, 6.20 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理共检出 34 种芳香物质, 10.34 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理共检出 33 种芳香物质。与对照相比, 2.07、6.20、10.34 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理芳香物质种类分别减少 10.00%、15.00%、17.50%。芳香物质中相对含量最多的是醛类, 对照处理相对含量为 59.48%, 2.07 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理相对含量为 35.32%, 6.20 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理相对含量 32.84%, 10.34 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理相对含量为 28.92%。与对照相比, 2.07、6.20、10.34 mg/m<sup>3</sup> 臭氧处理的醛类分别减少了 24.16%、26.64%、30.56%。说明臭氧处理对番茄果实的芳香物质有影响。

表 1 臭氧处理对番茄果实芳香物质的影响(%)  
Tabel 1 Effects of ozone treatment on aroma components in tomato fruits (%)

编号	化学名称	化学式	CK	2.07mg/m <sup>3</sup> 臭氧处理	6.20 mg/m <sup>3</sup> 臭氧处理	10.34 mg/m <sup>3</sup> 臭氧处理
醛类						
1	己醛 hexanal	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	16.87	10.7	11.9	10.81
2	2-甲基-4-戊烯醛 2-methyl-4-pentenal	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	-	4.98	-	-
3	反-2-己烯醛(E)-2-hexenal	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	40.39	20.04	20.39	14.53
4	十八碳烯醛 octadecenal	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O	0.61	-	0.55	0.48
5	Z-11-十五烯醛 Z-11-pentadecenal	C <sub>15</sub> H <sub>28</sub> O	0.55	0.55	-	-
6	反-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	0.53	-	-	-

续表1

编号	化学名称	化学式	CK	2.07mg/m <sup>3</sup> 臭氧处理	6.20 mg/m <sup>3</sup> 臭氧处理	10.34 mg/m <sup>3</sup> 臭氧处理
7	反-2-壬烯醛( <i>E</i> )-2-nonenal	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O	0.53	-	-	-
8	( <i>Z</i> )-3-己烯醛( <i>Z</i> )-3-hexenal	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	-	-	-	3.1
醇类						
1	2-甲基环戊醇 2-methyl-cyclopentanol	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	6.87	1.07	1.19	0.81
2	2-乙基环丁醇 2-ethyl-cyclobutanol	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	0.47	-	-	-
3	2-甲基-1-十六醇 2-methyl-1-hexadecanol	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub> O	0.47	-	-	-
4	环己醇 cyclohexanol	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	-	1.07	0.98	0.88
5	3-甲基-1,2-环戊烷二醇 3-methyl-1,2-cyclopentanediol	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	6.92	0.55	-	3.1
6	1,2-壬二醇 1,2-nonadecanediol	C <sub>19</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	0.41	-	2.41	-
7	反-3-十五烯-2-醇 <i>E</i> -3-pentadecen-2-ol	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O	0.43	-	-	0.21
8	4-甲基-4-戊烯-2-醇 4-methyl-4-penten-2-ol	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	-	2.78	-	-
9	反-3-甲基戊-1,3-二烯-5-醇 ( <i>E</i> )-3-methylpenta-1,3-diene-5-ol	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	4.98	-	3.5	-
10	1-庚三醇 1-heptatriacotanol	C <sub>37</sub> H <sub>76</sub> O	0.8	0.88	0.96	0.96
11	2,4-己二烯-1-醇 2,4-hexadien-1-ol	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	0.27	0.28	0.38	0.4
12	2-环己烯-1-醇 2-cyclohexen-1-ol	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O	-	0.47	-	-
13	反-3-十五碳烯-2-醇 <i>E</i> -3-pentadecen-2-ol	C <sub>15</sub> H <sub>30</sub> O	-	0.42	0.88	-
14	反-3-甲基戊-1,3-二烯-5-醇( <i>E</i> )-3-methylpenta-1,3-diene-5-ol	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	-	-	0.29	1.47
酯类						
1	反-2-甲基-3-十四碳烯-1-醇乙酸酯 <i>E</i> -2-methyl-3-tetradecen-1-ol acetate	C <sub>17</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	0.65	0.42	2.89	1.15
2	<i>Z</i> -8-十八碳烯-1-醇乙酸酯 <i>Z</i> -8-Octadecen-1-ol acetate	C <sub>20</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	0.65	0.59	-	-
3	<i>Z</i> -10-甲基-11-十四碳烯-1-醇丙酸酯 <i>Z</i> -10-methyl-11-tetradecen-1-ol propionate	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	0.43	-	0.35	1.15
4	异柠檬酸乙酯 isole citrate	C <sub>26</sub> H <sub>44</sub> O <sub>5</sub>	0.8	-	-	0.45
5	3-甲基环十二烷基甲酸叔丁酯 3-methylcyclopentadecylcarbamic acid, t-butyl ester	C <sub>21</sub> H <sub>41</sub> O <sub>2</sub>	-	0.45	0.43	-
6	10-甲基- <i>E</i> -11-十三碳烯-1-醇丙酸酯 10-methyl- <i>E</i> -11-tridecen-1-ol propionate	C <sub>17</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	0.13	0.26	0.43	-
7	7,10,13-二十碳三烯酸甲酯 7,10,13-eicosatrienoic acid methyl ester	C <sub>21</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	-	0.88	-	0.29
8	2-羟基-1-甲基丙基酯 2-hydroxy-1-methylpropyl ester	C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>3</sub>	0.45	0.23	-	-
9	( <i>Z</i> )-2-(9-十八碳烯氧基)乙酯( <i>Z</i> )-2-(9-octadecenyl-oxy)ethyl ester	C <sub>38</sub> H <sub>74</sub> O <sub>3</sub>	0.45	0.23	-	0.23
10	2-(十六烷氧基)乙酯 2-(hexadecyloxy)ethyl ester	C <sub>36</sub> H <sub>72</sub> O <sub>3</sub>	-	0.23	0.35	-
11	环戊酯 cyclopentyl ester	C <sub>14</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	7.45	6.57	-	1.47
12	4-十六烷基酯 4-hexadecyl ester	C <sub>25</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	-	6.57	--	-
13	2-丁基酯 2-butyl ester	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	-	-	3.29	1.47
14	环己基酯 cyclohexyl ester	C <sub>15</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	3.91	2.61	-	1.47
15	2-戊酯 2-pentyl ester	C <sub>14</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	-	2.61	3.29	-

续表 1

编号	化学名称	化学式	CK	2.07mg/m <sup>3</sup> 臭氧处理	6.20 mg/m <sup>3</sup> 臭氧处理	10.34 mg/m <sup>3</sup> 臭氧处理
16	2-甲基丙基酯 2-methylpropyl ester	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	-	-	0.37	1.94
17	6-乙基-3-辛基酯 6-ethyl-3-octyl ester	C <sub>19</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	-	-	0.37	1.94
18	辛酯 octyl ester	C <sub>17</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>	-	-	0.77	1.47
酮类						
1	15-[2-丙酰基乙基]-吡咯烷-2-酮 5-[2-propionylethyl]-pyrrolidin-2-one	C <sub>9</sub> H <sub>15</sub> NO <sub>2</sub>	0.63	-	0.25	-
2	2-甲基-2-环乙烷基-环丁酮 2-methyl-2-oxiranyl-cyclobutanone	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0.62	0.43	0.77	-
3	12-氧杂三环[4.4.3.0(1,6)]十三烷-3,11-二酮 12-oxatricyclo[4.4.3.0(1,6)]tridecane-3,11-dione	C <sub>12</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub>	0.29	-	-	0.88
4	2-羟基-5,6-环氧-15-甲基-20-酮 2-hydroxy-5,6-epoxy-15-methyl-pregan-20-one	C <sub>22</sub> H <sub>34</sub> O <sub>3</sub>	0.23	-	0.43	0.59
5	4-羟基-紫罗兰酮 4-Hydroxy- $\alpha$ -ionone	C <sub>13</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.23	0.20	-	-
6	异丙孕烯-3,7,11,20-四酮 allopregnane-3,7,11,20-tetra-one	C <sub>21</sub> H <sub>28</sub> O <sub>4</sub>	0.63	0.43	-	0.88
7	20-孕烯-1,4-二烯-3-酮 20-pregna-1,4-dien-3-one	C <sub>22</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	0.63	-	0.77	0.59
8	1-环戊基-2,4-二烯基十一-1-烯-1-酮 1-cyclopenta-2,4-dienylundec-10-en-1-one	C <sub>16</sub> H <sub>24</sub> O	-	2.62	0.77	0.55
9	2,6-双(2-甲基亚丙基)-环己酮 2,6-bis(2-methylpropylidene)-cyclohexanone	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O	0.88	0.68	-	0.55
10	2-羟基-5,6-环氧-15-甲基-20-酮 2-hydroxy-5,6-epoxy-15-methyl-pregan-20-one	C <sub>22</sub> H <sub>34</sub> O <sub>3</sub>	-	0.27	-	-
其他						
1	反式-13-二十二碳烯酸( <i>E</i> )-13-docosenoic acid	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	0.31	-	0.38	0.35
2	17-五十五碳烯 17-pentatriacontene	C <sub>35</sub> H <sub>70</sub>	0.31	-	1.39	-
3	2-羟基-2-辛基癸酸 2-hydroxy-2-octylsebacic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>5</sub>	0.29	0.45	-	-
4	十四烷酸 tetradecanoic acid	C <sub>24</sub> H <sub>38</sub> O <sub>4</sub>	0.59	-	-	0.22
5	3-甲基-2-己烯 3-methyl-2-hexene	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	-	4.98	2.78	3.1
6	9-氧杂双环[6.1.0]壬烷 9-oxabicyclo[6.1.0] nonane	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	-	0.27	0.38	-
7	十八烷二酸 octadecanedioic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>4</sub>	0.41	0.63	0.38	1.02
8	芥酸 erucic acid	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	-	0.63	-	-
9	7-氧杂双环[4.1.0]庚烷 7-oxabicyclo[4.1.0]heptane	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	-	0.49	0.38	-
10	( <i>Z</i> )-2-甲基-2-丁烯二酰胺( <i>Z</i> )-2-methyl-2-butenediamide	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	0.62	-	0.35
11	反-15-十五碳烯酸 <i>E</i> -15-Heptadecenoic acid	C <sub>17</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	-	0.41	-	-
12	反-11-十四碳烯酸 <i>E</i> -11-tetradecenoic acid	C <sub>14</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>	-	-	0.84	-
13	9-十六碳烯酸 9-hexadecenoic acid	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	0.29	-	0.28	-
14	反-4-辛烯( <i>E</i> )-4-octene	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	-	-	0.55	-
15	2,2-二甲基-3-辛烯 2,2-dimethyl-3-octene	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	-	-	-	1.72

注: 以上香气成分表中录入时去除了杂质或未知成分, -代表未检出。

## 4 结 论

通过研究不同浓度的臭氧处理对番茄果实贮藏品质的影响,发现通入  $10.34 \text{ mg/m}^3$  臭氧气体的番茄果实贮藏效果最好,呼吸高峰延迟出现,且呼吸强度降低,显著提高了番茄的贮藏保鲜效果,有效提高了番茄果实贮藏期间的品质,降低了番茄果实营养价值的损失。GC-MS 联用技术结合了 GC 的优点与 MS 的优点,可实现对样品香气成分定性、定量分析<sup>[15]</sup>。芳香物质是由醇类、醛类、酮类、萜类和酯类以及含硫化合物等组成的混合物。这些成分的感受值不同,有的气味强烈,而有的气味较弱甚至无味,只有将它们看作一个整体时,才具有某一种蔬菜的芳香特征<sup>[16]</sup>。对照共检出 40 种芳香物质,  $2.07$ 、 $6.20$ 、 $10.34 \text{ mg/m}^3$  臭氧处理分别检出 36、34、33 种芳香物质。与对照相比,芳香物质种类分别减少 10.00%、15.00%、17.50%。芳香物质中相对含量最多的是醛类,对照处理相对含量为 59.48%,  $2.07 \text{ mg/m}^3$ 、 $6.20 \text{ mg/m}^3$ 、 $10.34 \text{ mg/m}^3$  臭氧处理相对含量为 35.32%、28.92%、32.84%,与对照组相比,醛类分别减少了 24.16%、26.64%、30.56%。说明臭氧处理降低了主要挥发性物质的含量和种类。这可能是由于臭氧处理延缓了青番茄转红时间,硬熟期番茄果实比绿熟期番茄果实风味佳,与 Kader 等<sup>[17]</sup>和陈淑霞等<sup>[18]</sup>研究一致。

## 参考文献

- Ponce VM, Escalona HB, Villa JM, *et al.* Effect of refrigerated storage ( $12.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit flavor: A biochemical and sensory analysis [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2016, 111: 6–14.
- Odrizola SI, Soliva FR, Martín BO. Changes of health-related compounds throughout cold storage of tomato juice stabilized by thermal or high intensity pulsed electric field treatments [J]. *Innov Food Sci Emerg Technol*, 2008, 9(3): 272–279.
- 齐红岩, 陈俊俏, 吕德卿, 等. SRE 处理对采后番茄贮藏效果的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(20): 291–295.  
Qi HY, Chen JQ, Lv DQ, *et al.* Effect of SRE treatment on Tomatoes during postharvest storage [J]. *Food Sci*, 2014, 35(20): 291–295.
- 徐港明, 韩英, 万能, 等. 臭氧在农产品贮藏保鲜上的研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(20): 275–277.  
Xu GM, Han Y, Wan N, *et al.* Research progress of ozone in preservation of agricultural products [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2015, 43(20): 275–277.
- Whangchai K, Uthaibutra J, Phiyalinmat S, *et al.* Effect of ozone treatment on the reduction of chlorpyrifos residues in fresh lychee fruits [J]. *Ozone: Sci Eng*, 2011, 33(3): 232–235.
- Calder BL, Skonberg DI, DavisDK, *et al.* The effectiveness of ozone and acidulant treatment in extending the refrigerated shelf life of fresh-cut potatoes [J]. *J Food Sci*, 2001, 76(8): 492–498.
- 陈存坤, 董成虎, 纪海鹏, 等. 臭氧处理对双孢菇采后生理和贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(17): 155–158.  
Chen CK, Dong CH, Ji HP, *et al.* Effects of ozone treatment on postharvest physiology and storage quality of *Agaricus bisporus* [J]. *Food Sci*, 2015, 36(17): 155–158.
- 陈存坤, 高芙蓉, 薛文通, 等. 臭氧处理对新疆厚皮甜瓜贮藏品质和生理特性的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(20): 215–220.  
Chen CK, Gao FR, Xue WT, *et al.* Effects of ozone treatment on storage quality and physiological characteristics of Xinjiang thick-skinned melon [J]. *Food Sci*, 2016, 37(20): 215–220.
- 陈存坤, 韩洁, 董成虎, 等. 臭氧处理对不同成熟度金丝小枣贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2015, 15(5): 15–19.  
Chen CK, Han J, Dong CH, *et al.* Effect of ozone treatment on storage quality of different maturity of Jinsixiaozao [J]. *Food Sci*, 2015, 15(5): 15–19.
- 武杰, 朱飞. 臭氧处理对不同成熟度葡萄保鲜效果[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(11): 359–362.  
Wu J, Zhu F. Effect of ozone treatment on the fresh-keeping of the grapes with different maturities [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(11): 359–362.
- Dharini S, Lise K. Fruit quality and physiological responses of litchi cultivar mclean, red to 1-methylcyclopropene pretreatment and controlled atmosphere storage conditions [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2010, 43(6): 942–948.
- 谢芳, 潘寒灼, 袁树枝, 等. 酵母甘露聚糖处理对番茄果实贮藏效果的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(2): 221–225.  
Xie F, Pan HZ, Yuan SZ, *et al.* Effects of infiltration with yeast mannan on postharvest storage of tomato fruits [J]. *Food Sci*, 2015, 36(2): 221–225.
- 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.  
Cao JK, Jiang WB, Zhao YM, *et al.* Fruits and vegetables postharvest physiological biochemical experiment instruction [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- 张鹏, 李鑫, 李江阔, 等. 1-MCP 结合纳他霉素对富士苹果贮后货架品质和芳香物质的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(20): 234–240.  
Zhang P, Li X, Li JK, *et al.* Effect of 1-MCP combined with different concentrations of natamycin on quality and aroma substances of fuji apple during ambient shelf life after cold storage [J]. *Food Sci*, 2016, 37(20): 215–220.
- Eva SP, Consuelod MM, Soledad PC. Rapid determination of volatile compounds in grapes by HS-SPME coupled with GC-MS [J]. *Talanta*, 2005, 66(5): 1152–1157.
- 刘明池, 郝静, 唐晓伟, 等. 番茄果实芳香物质的研究进展[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(5): 1444–1451.  
Liu MC, Hao J, Tang XW, *et al.* Advances in studies of aroma components

in tomato fruits [J]. *Sci Agric Sin*, 2008, 41(5): 1444–1451.

[17] Kader AA, Stevens MA, Morris LL, *et al*. Effect of fruit ripeness when picked on flavor and composition of fresh market tomatoes [J]. *J Am Soc Hortic Sci*, 1977, 102: 724–733.

[18] 陈淑霞, 林海军. 番茄果实不同发育阶段香气成分组成及变化[J]. *西北植物学报*, 2010, 30(11): 2258–2264.

Chen SX, Lin HJ. Dynamic changes of tomato fruit aroma at different fruit development stages [J]. *Acta Bot Boreali-Occidentalia Sin*, 2010, 30(11): 2258–2264.

(责任编辑: 霍安琪)

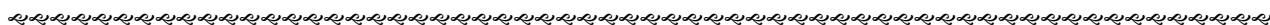
### 作者简介



罗 丹, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。  
E-mail: 1151588065@qq.com



王成荣, 硕士, 教授, 主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。  
E-mail: qauwcr@126.com



## 《食品无损检测技术专题》征稿函

食品的品质是关系到人民生命安全和国民经济发展的重大问题。无损检测技术作为一种新兴的检测技术, 在食品品质的变化、流通环节的质量变化等过程中, 可起到保证食品质量与安全的作用, 其在线检测可实现高通量样品的食用安全性筛查和品质分级。

鉴于此, 本刊特别策划“食品无损检测技术”专题。由中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所王静研究员担任专题主编。专题将围绕(1)高光谱图像检测技术、激光拉曼光谱、近红外光谱、X 射线图像、荧光光谱、磁共振成像技术、人工嗅觉与人工味觉的传感器技术等食品无损检测新技术和装备; (2)产品品质、外观、口感等方面的实用性无损检测技术等或您认为该领域有意义的话题展开讨论。计划在 2017 年 10 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 王静研究员和主编吴永宁研究员特邀请您为本专题撰写稿件, 综述、研究论文、研究简报均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。请在 2017 年 9 月 30 日前通过网站或 Email 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

投稿方式:

网站: [www.chinafoodj.com](http://www.chinafoodj.com)

Email: [jfoods@126.com](mailto:jfoods@126.com)

《食品安全质量检测学报》编辑部