

# 高密度二氧化碳处理 对鲜切苦瓜品质的影响

孙新<sup>1,2</sup>, 赵晓燕<sup>1</sup>, 马越<sup>1</sup>, 张超<sup>1,\*</sup>

(1.北京市农林科学院蔬菜研究中心、果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室、农业部华北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室、农业部都市农业(北方)重点实验室,北京 100097;  
2.沈阳农业大学,食品科学与工程学院,辽宁沈阳 110161)

**摘要:**研究比较高密度二氧化碳处理、次氯酸钠处理和漂烫处理对鲜切苦瓜品质的影响。随着高密度二氧化碳处理压力提高,鲜切苦瓜中菌落总数显著降低,在 6 MPa 处理后,其菌落总数降低 5.8 Log(CFU/g),显著高于次氯酸钠处理;同时,高密度二氧化碳处理(6 MPa)对鲜切苦瓜的细胞结构影响最小,并降低其苦味。但是,高密度二氧化碳处理后,鲜切苦瓜中抗坏血酸损失率为 85%,叶绿素含量损失率为 70%。因此,高密度二氧化碳处理(6 MPa)可有效减少鲜切苦瓜中微生物数量,降低其苦味。

**关键词:**高密度二氧化碳,压力,鲜切苦瓜,微观形态,苦味

## Effects of dense phase carbon dioxide treatments on qualities of fresh-cut bitter gourd

SUN Xin<sup>1,2</sup>, ZHAO Xiao-yan<sup>1</sup>, MA Yue<sup>1</sup>, ZHANG Chao<sup>1,\*</sup>

(1.Beijing Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences; Beijing Key Laboratory of Fruits and Vegetable Storage and Processing; Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (North China), Ministry of Agriculture; Key Laboratory of Urban Agriculture (North), Ministry of Agriculture, 50 Zhanghua Road, Haidian District, Beijing 100097, China;  
2.Shenyang Agricultural University, College of Food Science and Engineering, Shenyang 110161, China)

**Abstract:** The effect of the dense phase carbon dioxide (DPCD), blanching and sodium hypochlorite treatments on qualities of the fresh-cut bitter gourd was compared. The DPCD treatment of 6 MPa lowered 5.8 Log(CFU/g) of the total bacterial counts, which was significant higher than that of the sodium hypochlorite and blanching treatments. The DPCD treatment gave the minimal influence on the cell structure of the bitter gourd, and lowered the bitterness. However, the  $V_C$  and chlorophyll content of the fresh-cut bitter gourd were reduced 85% and 70%, respectively. In summary, the DPCD treatment of 6 MPa reduced the total bacterial counts and bitterness of the fresh-cut bitter gourd.

**Key words:** dense phase carbon dioxide; pressure; fresh-cut bitter gourd; microstructure; bitterness

中图分类号: TS201

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2016)19-0320-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.19.054

苦瓜具有解毒、降血糖、降血脂、抗菌抑菌和抗肿瘤等功能,是一种药食兼用的保健食品<sup>[1]</sup>。但因其味苦,部分消费者难以接受,民间去苦方法很多,如在热水中漂烫、在切好的苦瓜上面撒盐浸渍、或将苦瓜与辣椒合炒等方法,但这些方法适用于家庭炒菜的情景,难以在工业化生产中应用,其货架期也难以保证<sup>[2]</sup>。

鲜切苦瓜是将新鲜苦瓜经清洗、修整、去籽、切片、包装等步骤制成的即食性蔬菜,具有方便快捷等

特点<sup>[3-4]</sup>。但是,新鲜蔬菜切割后,会有大量的营养物质外流,促进微生物的生长,降低蔬菜品质,缩短产品货架期<sup>[5-6]</sup>。现在常用次氯酸钠清洗和热漂烫处理进行灭菌,次氯酸钠清洗可以减少微生物数量,抑制果蔬褐变过程,但其所带来的安全问题越来越引起人们的关注;热漂烫处理会使果蔬食品营养成分流失,感官特性受到影响<sup>[7]</sup>。高密度二氧化碳处理(Dense phase carbon dioxide, DPCD)是一种新型的非

收稿日期: 2016-03-18

作者简介: 孙新(1990-),女,硕士研究生,研究方向:食品加工新技术, E-mail: 465790971@qq.com。

\* 通讯作者: 张超(1978-),男,博士,副研究员,研究方向:果蔬深加工, E-mail: zhangchao@nrcv.org。

基金项目: 国家农业产业技术体系(CARS-25 & CARS-26);北京市农林科学院科技创新能力建设专项新学科培养(KJ CX20140204 & KJ CX20140111-21);果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室(Z141105004414037)。

热减菌技术,其利用 CO<sub>2</sub> 分子效应,降低微生物总数、钝化酶活性、促进部分物质溶出<sup>[8]</sup>。DPCD 减菌技术已经应用于食品加工的多个领域<sup>[9]</sup>。刘书成等<sup>[10]</sup>发现 15 MPa DPCD 处理条件对凡纳滨虾肉品质的影响要小于热处理对虾肉品质的影响。但关于 DPCD 处理在果蔬方面的研究较少,只有少数关于鲜切莲藕<sup>[11]</sup>、鲜切马铃薯<sup>[12]</sup>和樱桃番茄<sup>[13]</sup>的报道。

本研究采用 DPCD 处理减少鲜切苦瓜中微生物数量、降低苦味感,评价 DPCD 处理压力对鲜切苦瓜品质的影响,并将其与次氯酸钠处理和漂烫处理后的样品比较,以期 DPCD 技术在鲜切蔬菜中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

苦瓜 品种为翠绿大顶,果香四溢蔬菜超市(曙光花园店,北京)。

氯化钠 国药集团化学试剂有限公司;营养琼脂 北京奥博星生物技术有限责任公司;草酸-EDTA 溶液 北京化工厂;偏磷酸-乙酸缓冲溶液 国药集团化学试剂有限公司;硫酸 北京化工厂;钼酸铵溶液 天津市化学试剂四厂;乙醇 北京化工厂。

高密度二氧化碳间隙杀菌实验装置 海安石油科研仪器有限公司;UV-1800 紫外分光光度计 日本岛津公司;HR1364 手持式搅拌机 飞利浦电子香港有限公司;恒温恒湿培养箱 德国 MMM 公司;3-18 型高速冷冻离心机 德国赛多利斯有限公司;Stable Temp 水浴锅 美国 COLE-PARMER 公司;Seven Compact pH 计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;S-4800 场发射扫描电镜 昆山伯莱恩光学有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 苦瓜预处理 选择成熟度相同、大小一致、无明显损伤的新鲜苦瓜,过夜冷藏于 4 ℃ 冰箱,备用。将苦瓜从冰箱中取出,经过清水洗净,然后再用无菌水清洗,在洁净车间切去头尾两端,留下粗细均匀部分,并将苦瓜分节去籽,用不锈钢刀切成 4 mm 的薄片。将苦瓜切片分别采用次氯酸钠处理、漂烫处理和 DPCD 处理,每组样品 3 个平行处理。

次氯酸钠处理:100 ppm 有效氯溶液(温度为 25 ℃,pH=6.5)消毒(料液比 1:5,浸泡 2 min),然后用无菌水漂洗,将苦瓜样品沥干,每 200 g 样品热封于包装袋中,并保存在 4 ℃ 条件下,简称为次氯酸钠处理。

漂烫处理:水浴锅中加入无菌水,加热至 52 ℃,切好的苦瓜放入热水中漂烫 2 min,然后用无菌水冲洗 10 s,将苦瓜样品沥干,每 200 g 样品热封于包装袋中,并保存在 4 ℃ 条件下,简称为 52 ℃ 2 min 处理。

DPCD 处理:设定处理温度为 25 ℃,处理时间为 10 min,处理压力分别为 3、6 MPa,将鲜切苦瓜片放入 DPCD 反应釜中,进行减菌,处理完毕后缓慢释放 CO<sub>2</sub> 至完全<sup>[10]</sup>,将处理完的样品每 200 g 热封于包装袋中,并保存在 4 ℃ 条件下,简称为 3 MPa 处理和

6 MPa 处理。

对照组:用 25 ℃ 无菌水冲洗 2 min,沥干后每 200 g 样品热封于包装袋中,并保存在 4 ℃ 条件下。

1.2.2 测定指标 菌落总数测定:采用平板计数法测定,参照 GB4789.2—2010《食品微生物学检验菌落总数测定》测定<sup>[14]</sup>。分别取对照处理、漂烫处理、次氯酸钠处理和 DPCD 处理的菌液,摇匀后采用 10 倍稀释法逐级稀释。根据细菌数量选择合适的稀释度进行逐级稀释,吸取 3 个不同稀释度的样品 1.0 mL 于培养皿中,每个梯度 3 个重复。导入 50 ℃ 左右的琼脂培养基,摇匀并于 37 ℃ 条件下培养 48 h,再进行菌落计数。分别在 0、1、3、5 和 7 d 进行菌落计数。

抗坏血酸含量测定:根据李军方法改进<sup>[15]</sup>。分别取各处理组的苦瓜样品 50 g,加入 50 mL 草酸-EDTA 溶液(草酸 0.05 mol/L、0.2 mol/L EDTA),打浆过滤,离心取上清液 2 mL,依次加入 0.5 mL 偏氯乙酸、1 mL 0.5% 硫酸,充分摇匀后,加入 2 mL 50 g/L 钼酸铵溶液并再次摇匀;蒸馏水定容至 25 mL,避光静置 15 min 后,用紫外分光光度计在 705 nm 处测定吸光值。重复 3 次作为平行。计算公式:

$$V_c(\text{mg/g}) = \frac{C \times V_1}{W \times V_2}$$

式中 C:测定用样液中还原型 V<sub>c</sub> 的含量(mg);V<sub>1</sub>:测定用样液体积(mL);V<sub>2</sub>:样液定容总体积(mL);W:样品重量(g)。

叶绿素测定:分别取打碎后的各处理组的苦瓜样品 5 g,加入 20 mL 95% 乙醇混匀后,避光静置 8 h,滤纸过滤测定上清液在 663 nm 和 645 nm 处的吸光值。重复 3 次作为平行。采用 Arnon<sup>[16]</sup> 计算公式:

$$\text{叶绿素 a 含量}(\text{mg/g}): C_a = (12.7A_{663} - 2.69A_{645}) \times V/W$$

$$\text{叶绿素 b 含量}(\text{mg/g}): C_b = (22.9A_{645} - 4.68A_{663}) \times V/W$$

$$\text{叶绿素总含量}(\text{mg/g}): C_{(a+b)} = C_a + C_b$$

式中:A<sub>663</sub>、A<sub>645</sub>为相应波长下的吸光度值;V为提取液的体积;W为苦瓜质量。

可溶性固形物测定:取苦瓜样品用手持式搅拌机打碎后,取 10 g 于纱布上,轻微挤出汁液滴在手持式折光仪的样品区,测定可溶性固形物含量。重复 3 次作为平行。

pH 测定:取苦瓜样品 50 g,手持式搅拌机打碎后,用纱布轻微挤出汁液,在小烧杯中,使用 pH 计检测汁液的 pH。重复 3 次作为平行。

1.2.3 电镜分析 使用 SEM 观察苦瓜样品的微观结构,使用碳导电胶带将样品粘在样品托上,喷金后,利用扫描电子显微镜拍照,加速电压为 5.0 kV,在 15.0 mm × 200 SE(M)200 μm 下进行电镜观察。

1.2.4 苦味评价 由 7 位感官评价员针对苦瓜样品的苦味程度进行定性的评比打分,比较处理后样品的苦味强度。其中苦涩感强烈为 0~1 分;苦涩感适中为 2~3 分;苦涩感较弱为 4~5 分。

### 1.3 数据处理与统计

实验所有数据均有三次重复,计算平均值和标准偏差,使用统计分析软件 DPS v7.05 进行处理,

Duncan's 新复极差法进行显著性分析( $p \leq 0.05$ )。图像绘制采用 Origin 8.0 软件(美国 Origin Lab Corporation 公司)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 DPCD 处理压力对鲜切苦瓜菌落总数的影响

研究发现当 DPCD 处理压力高于 8 MPa, 鲜切苦瓜的外观显著劣化, 因而本研究考察 3 和 6 MPa 对鲜切苦瓜品质的影响。目前, 鲜切蔬菜中菌落总数尚未颁布国家标准, 部分企业标准为菌落总数不超过 5.0 Log(CFU/g)。图 1 显示 DPCD 处理对鲜切苦瓜中菌落总数的影响, 可以发现 52 °C 2 min 处理的菌落总数与对照组类似, 次氯酸钠、3 和 6 MPa 处理均显著降低鲜切苦瓜中的菌落总数。因而, DPCD 处理显著降低鲜切苦瓜中的菌落总数, 类似的结论在哈密瓜汁中也有报道<sup>[17]</sup>。值得注意的是, 3 MPa 处理比对照组菌落总数降低约 2.2 Log(CFU/g), 而 6 MPa 处理后菌落降低 5.8 Log(CFU/g), 达到显著灭菌的效果。研究表明在 31 °C 和 7.3 MPa 压力下, 二氧化碳处于超临界状态, 越接近该状态, DPCD 灭菌效果越好<sup>[18]</sup>, 与本文研究结果一致。同时, 研究显示随着 DPCD 处理压力提高, 超临界二氧化碳更容易进入微生物内部, 破坏细胞膜结构, 影响微生物正常代谢, 灭菌效果提高<sup>[19]</sup>。

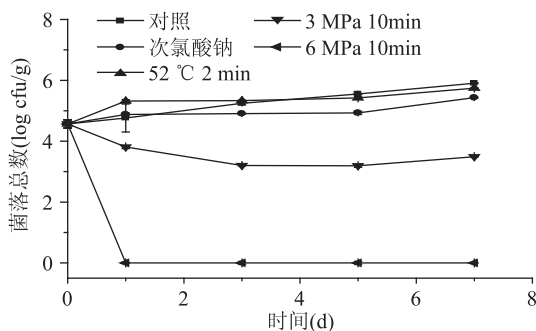


图 1 DPCD 处理对鲜切苦瓜菌落总数的影响

Fig.1 Effect of DPCD treatments

on total bacterial count of fresh-cut bitter melon

### 2.2 DPCD 处理压力对鲜切苦瓜抗坏血酸含量的影响

图 2 显示 DPCD 处理压力对鲜切苦瓜抗坏血酸含量的影响, 可以发现 DPCD 处理使鲜切苦瓜中抗坏血酸含量显著下降( $p < 0.05$ ), 仅剩余 10 mg/100 g, 损失率达到 85% 左右, 不同压力对抗坏血酸损失率影响不显著。类似的结论也发生在 3 MPa 下处理樱桃番茄<sup>[13]</sup>和 12 MPa 处理鲜切胡萝卜<sup>[6]</sup>。该现象的原因在于高压 CO<sub>2</sub> 进入样品细胞内, 改变了细胞结构<sup>[20]</sup>, 导致细胞破裂, 抗坏血酸含量降低。次氯酸钠处理后鲜切苦瓜中抗坏血酸含量有所提高, 类似的结果在使用次氯酸钠清洗鲜切马铃薯的研究中也有出现<sup>[12]</sup>。经过 52 °C 2 min 漂烫苦瓜样品的抗坏血酸损失率达到 37%, Lae-Seung 在菠菜的研究中也发现类似的结果<sup>[21]</sup>。

### 2.3 DPCD 处理压力对鲜切苦瓜叶绿素含量的影响

图 3 为处理后第 1 d 叶绿素含量, 苦瓜中叶绿素

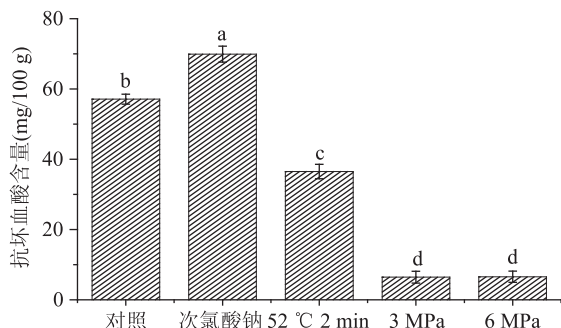


图 2 DPCD 处理对鲜切苦瓜抗坏血酸含量的影响

Fig.2 Effect of DPCD treatments

on ascorbic acid content of fresh-cut bitter melon

含量约为 3.6 mg/100 g, 次氯酸钠处理组与对照组叶绿素含量无显著差异( $p > 0.05$ ), 经过 52 °C 2 min 漂烫处理鲜切苦瓜的叶绿素损失 29%。3 MPa DPCD 处理下叶绿素含量达到 1.7 mg/100 g, 损失率为 50%; 6 MPa 处理下叶绿素含量达到 1.2 mg/100 g, 损失率为 70%。原因在于 DPCD 处理过程中中高压使 CO<sub>2</sub> 进入苦瓜细胞内部, 对细胞内部的细胞器的正常运转有一定影响, 叶绿体随之破坏溶出<sup>[22]</sup>。

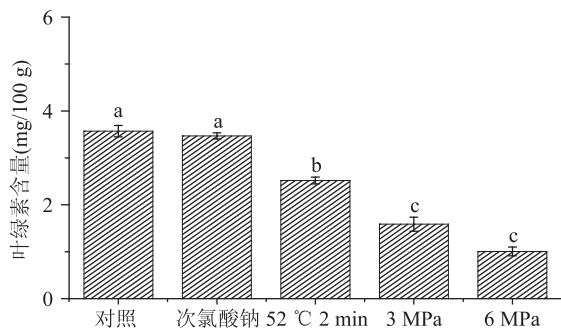


图 3 DPCD 处理对鲜切苦瓜叶绿素含量的影响

Fig.3 Effect of DPCD treatments

on chlorophyll content of fresh-cut bitter melon

### 2.4 DPCD 处理压力对鲜切苦瓜 pH 的影响

图 4 为 DPCD 处理压力对鲜切苦瓜 pH 的影响, 次氯酸钠处理和 52 °C 2 min 处理对鲜切苦瓜 pH 无显著性影响。而 DPCD 处理后, 鲜切苦瓜的 pH 均降低 0.3。该现象的原因在于 DPCD 处理使 CO<sub>2</sub> 进入细胞内部, 形成 HCO<sup>-</sup>、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 及 H<sup>+</sup> 等酸性离子, 样品 pH 降低<sup>[23]</sup>。

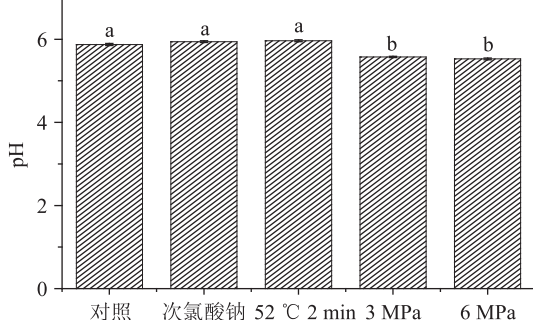


图 4 DPCD 处理对鲜切苦瓜 pH 的影响

Fig.4 Effect of DPCD treatments

on pH value of fresh-cut bitter melon



## 2.5 DPCD 处理压力对鲜切苦瓜可溶性固形物含量的影响

图5为DPCD处理压力对鲜切苦瓜可溶性固形物含量的影响,鲜切苦瓜在经过次氯酸钠处理后可溶性固形物降低,而52℃ 2 min处理和DPCD处理对样品可溶性固形物含量无显著性影响,因而DPCD对于鲜切苦瓜的营养成分有良好的保留作用。与DPCD处理胡萝卜后的结果一致<sup>[19]</sup>。

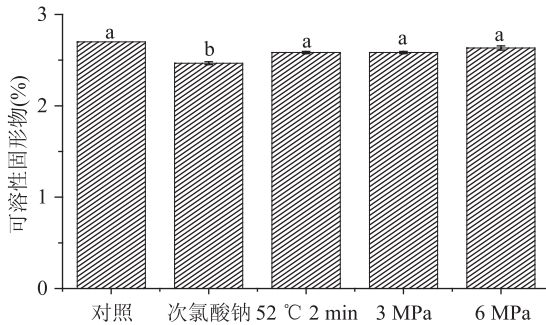


图5 DPCD处理对鲜切苦瓜可溶性固形物含量的影响  
Fig.5 Effect of DPCD treatments on total soluble solid of fresh-cut bitter gourd

## 2.6 DPCD 处理压力对鲜切苦瓜微观形态和苦味的影响

图6为DPCD处理压力对鲜切苦瓜微观形态的影响。对照组样品细胞壁形态完整,细胞排列整齐。DPCD处理后细胞仅有少量破损部位,处理压力对细胞壁形态无明显影响。原因可能在于二氧化碳释放时为气体状态,因而仅形成小的破损部位<sup>[24-27]</sup>。而次氯酸钠处理组细胞之间界限模糊,细胞壁结构破裂,可能在于 $\text{ClO}^-$ 与细胞壁的反应所造成。52℃ 2 min漂烫处理与次氯酸钠处理类似,都使鲜切苦瓜细胞间的界限模糊。因此,使用DPCD处理会使鲜切苦瓜的组织结构更接近对照组。

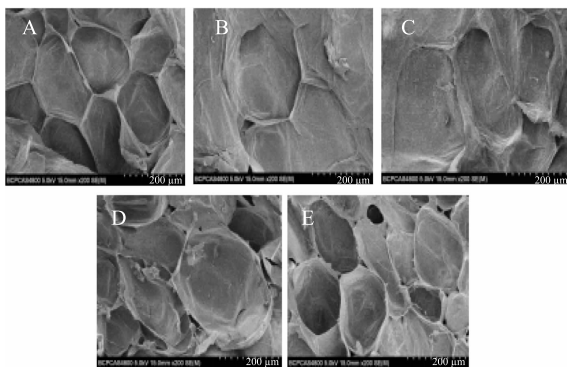


图6 DPCD处理对鲜切苦瓜微观结构的影响  
Fig.6 Effect of DPCD treatments on microstructure of fresh-cut bitter gourd

注:A:对照组;B:52℃ 2 min;C:次氯酸钠处理;D:3 MPa处理;E:6 MPa处理。

DPCD处理后,鲜切苦瓜的苦味显著降低(图7)。苦瓜中的苦味主要是由葫芦烷型的三萜类化合物产生,该类化合物极性高,易溶于氯仿、乙腈以及超临界二氧化碳等强极性溶剂,难溶于水<sup>[28-29]</sup>。在DPCD处

理过程中,葫芦烷型的三萜类化合物溶入超临界二氧化碳中<sup>[28]</sup>,因而鲜切苦瓜中葫芦烷型的三萜类化合物含量降低,苦味降低。52℃ 2 min漂烫处理的苦瓜的苦味也有所降低,原因可能在于高温破坏鲜切苦瓜的表层细胞结构,胞内的葫芦烷型的三萜类化合物流失;而次氯酸钠处理对其苦味没有明显影响。DPCD处理后的苦瓜更能满足部分消费者的偏好。

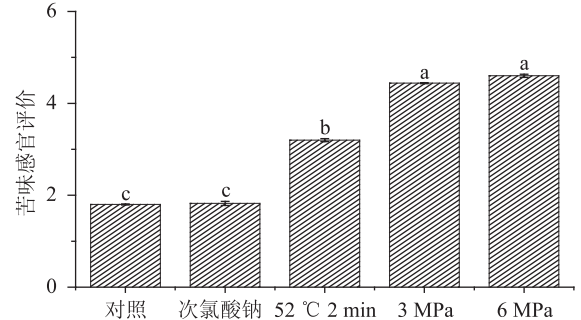


图7 DPCD处理对鲜切苦瓜苦味影响的感官评价  
Fig.7 Effect of DPCD treatments on bitterness of fresh-cut bitter gourd

## 3 结论

随DPCD处理压力提高,鲜切苦瓜中菌落总数显著降低,在6 MPa处理后,鲜切苦瓜菌落总数降低5.8 Log(CFU/g),抗坏血酸含量损失率为85%,叶绿素含量损失率为70%,并显著降低苦瓜的苦味;同时DPCD处理对鲜切苦瓜的微观组织结构影响最小。因此,DPCD处理在有效降低鲜切苦瓜菌落总数的同时,降低其苦味,更适合于大众的口味。

## 参考文献

- [1]袁祖华,粟建文,胡新军,等.苦瓜的营养化学成分及保健功能研究进展[J].湖南农业科学,2006,(5):48-50.
- [2]赖建平,李铭春,曹伟强.苦瓜去苦味的研究[J].广州化工,1999,(27):30-32.
- [3]赵晓燕.我国鲜切菜产业中的问题与发展趋势[J].中国蔬菜,2011,(17):1-3.
- [4]Bi Xiufang, Wu Jihong, Zhang Yan, et al. High pressure carbon dioxide treatment for fresh-cut carrot slices[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2011, (12): 298-304.
- [5]刘进杰.国内外鲜切果蔬保鲜技术研究现状[J].安徽农业科学,2007,35(16):4931-4933.
- [6]郑林彦,韩涛,李丽萍.国内切割果蔬的保鲜研究现状[J].食品科学,2005,26(5):125-127.
- [7]Spilimbergo Sara, Komes Drazenka, Vojvodic Aleksandra, et al. High pressure carbon dioxide pasteurization of fresh-cut carrot[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2013, 79: 99-100.
- [8]屈小娟,刘书成,吉宏武,等.高密度 $\text{CO}_2$ 诱导制备虾糜凝胶的特性[J].农业工程学报,2012,28(20):282-287.
- [9]Murat O. Balaban, Trang Duong. Dense phase carbon dioxide research: current focus and directions[J]. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 2014, 2: 2-9.
- [10]刘书成,张良,吉宏武,等.高密度 $\text{CO}_2$ 与热处理对凡纳滨对虾肉品质的影响[J].水产学报,2013,37(10):1542-1549.
- [11]张华,董月强,李青,等.高密度二氧化碳技术对鲜切莲(下转第329页)

验的研究表明,电生功能水在果蔬保鲜方面具有潜在的应用价值,对于其适用范围和作用机理,需要进行更加深入的研究,以期使其能够更好的应用于果蔬保鲜。

### 参考文献

- [1] 韩玉珠,薛艳杰,宋述尧.菜豆采后生理及贮藏技术的研究进展[J].食品科学,2013,34(13):345-349.
- [2] 王利斌,姜丽,石韵,等.气调贮藏对四季豆生理生化特性的影响[J].食品科学,2013,34(08):289-293.
- [3] 缪颖,田维娜,郝长敏.壳聚糖处理延缓采后菜豆豆荚纤维化的研究[J].中国农业大学学报,2012,17(1):132-137.
- [4] 黄漫青,韦强,孙瑞,等.冰袋预冷对豆角贮藏品质的影响[J].北京农学院学报,2015,30(2):104-109.
- [5] 谢军,孙晓红,潘迎捷,等.酸性电解水及其在食品工业中的应用[J].食品工业科技,2010,31(02):366-370.
- [6] 李华贞,郑淑方,宋曙辉,等.酸性电解水对果蔬杀菌及保鲜效果的研究[J].现代食品科技,2011,27(3):361-365.
- [7] Sakurai Y, Nakatsum S, Satoy, et al. Endoscope contamination from HBV and HCV positive patients and evaluation of a cleaning/disinfecting method using strongly acidic electrolyzed water[J]. Digestive Endoscopy, 2003, 15(1):19-24.
- [8] WANG Jingjing, LIN Ting, LI Jibing, et al. Effect of acidic electrolyzed water ice on quality of shrimp in dark condition[J]. Food Control, 2014, 35(1):207-212.
- [9] 贾国梁,石晶盈,李法德.电生功能水抑制微生物及其产

(上接第323页)

- 藕褐变相关酶活的影响[J].食品工业技术,2013,34(22):290-293.
- [12] 唐偲雨,周金源,张玲,等.不同清洗方式对鲜切马铃薯品质的影响[J].西南农业学报,2015,3(28):1268-1272.
- [13] 龙婉蓉,郭蕴涵,赵翠萍,等.高密度CO<sub>2</sub>预处理对樱桃番茄干燥的影响[J].贮藏保鲜,2012,4(33):387-389.
- [14] 中华人民共和国卫生部.GB 47892-2010.食品微生物学检验菌落总数测定[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [15] 李军.钼蓝比色法测定还原型维生素C[J].食品科学,2000,21(8):42-45.
- [16] 段光明.叶绿素含量测定中 Anron 公式的推导[J].植物生理学通讯,1992,28(2):221-222.
- [17] Chen Jiluan, Zhang Jing, Song Lijun, et al. Changes in microorganism, enzyme, aroma of hami melon (cucumis melo L.) juice treated with dense phase carbon dioxide and stored at 4 °C [J]. Innovative food science and emerging technologies. 2011, (11):623-629.
- [18] Ferrentino Giovanna, Calliari Nicola, et al. Validation of a mathematical model for predicting high pressure carbon dioxide inactivation kinetics if Escherichia coli spiked on fresh cut carrot [J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2014, 85:17-23.
- [19] Ferrentino Giovanna, Spilimbergo Sara. High pressure carbon dioxide combined with high power ultrasound pasteurization of fresh cut carrot [J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2015, 105(23):170-178.
- [20] 顾丰颖,卢嘉,王晓拓,等.高密度二氧化碳技术的杀菌

- 生毒素研究进展[J].食品科学,2015,36(03):265-271.
- [10] 郝健雄,王愈.酸性电解水处理对草莓采后生理的影响[J].温室园艺,2006(5):36-38.
- [11] 王愈,郝建雄,李里特.电生功能水和静电场处理对草莓采后生理的影响[J].农业工程学报,2006.22(03):184-187.
- [12] 李华贞,刘海杰,宋曙辉,等.微酸性电位水杀灭菠菜表面微生物的影响[J].食品科学,2011,32(17):95-99.
- [13] 郝建雄,李里特.电生功能水消除蔬菜农药残留的实验研究[J].食品工业科技,2006,27(5):164-166.
- [14] 牛天贵,张宝芹.食品微生物检验[M].北京:中国计量出版社,2004.
- [15] 曹建康.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [16] Liao L B, Chen W M, Xiao X M. The generation and inactivation mechanism of oxidation-reduction potential of electrolyzed oxidizing water [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(4):1326-1332.
- [17] Marriott N G, Gravani R B. Principles of food sanitation [J]. Springer, 2006, 17:37-42.
- [18] 纪淑娟,齐谨宇,魏宝东,等.电位水对黄瓜表面杀菌及常温货架期保鲜效果的影响.食品与发酵科技,2014,12:190-195.
- [19] 李克娟,郝建雄,刘海杰,等.酸性电生功能水对鲜榨梨汁品质的影响[J].食品工业科技,2012,33(8):132-136.
- [20] 张鹏,李江阔,张平,等.不同保鲜剂处理对油豆角采后生理品质的影响[J].北方园艺,2012(17):168-170.
- [21] JUNG Laeseung, LEE Seunghwan, KIM Sungkyun, et al. Effects of high hydrostatic pressure on the quality-related properties of carrot and spinach [J]. Food Science Biotechnol, 2013, 22:189-195.
- [22] HONG Shan, YUN Yan. Membrane damage and enzyme inactivation of Lactobacillus plantarum by high pressure CO<sub>2</sub> treatment [J]. Internation Journal Food Microbiol, 2001, 63:19-28.
- [23] 徐玉娟,温靖,肖更生,等.高密度二氧化碳对荔枝汁品质的影响[J].食品科学,2012,33(15):71-74.
- [24] 田晓琴,曹雨莉,胡亚云,等.超高压处理压力对西瓜汁物理特性和保藏性能的影响[J].西北农林科技大学学报,2008,36(3):208-212.
- [25] Arthur Hutkins, Loren Nannen. pH homeostasis in lactic-acid bacteria [J]. J. Dairy Science., 1993, 76(8):2354-2365.
- [26] Miguel Meirelles de Oliveira, Alline Artigiani Lima Tribst, et al. Effects of high pressure processing on cocoyam, Peruvian carrot and sweet potato: Changes in microstructure, physical characteristics, starch, and drying rate [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2015, 31:45-53.
- [27] Dolores Valverde, Marin Iniesta, Calvo, et al. Inactivation of Saccharomyces cerevisiae in Conference Pear with high pressure carbon dioxide and effects on pear quality [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 98:421-428.