

微酸性电解水对小黄瓜感官品质的影响

范雅柔, 曹艳芸, 韩剑众*

(浙江工商大学食品与生物工程学院 杭州 310018)

摘要 目的:探究微酸性电解水对果蔬感官品质的影响机理。方法:选取小黄瓜为研究对象,采用物性分析仪测定其质构指标,使用固相微萃取法结合气-质谱联用法分析其风味物质,并探究其表皮蜡质组成与结构变化。采用 GC-MS 技术对其表皮蜡质组分进行定性、定量分析,采用扫描电子显微镜观察其微观结构。结果:与未电解水处理和对照组相比,用微酸性电解水处理 20 min 可使小黄瓜表皮硬度分别提升 6.7%和 8.6%,脆度分别增加 7.5%和 15.7%,表皮厚度分别降低 11.1%和 12.4%。且其风味物质不受影响。其表皮蜡质总含量显著下降(约 43.23%),并呈现烷烃含量减少、萜类含量增加的趋势,微观结构更加光滑平整。结论:微酸性电解水使小黄瓜外表皮蜡质分解,角质层暴露,外界物质通过表皮气孔进行交换,继而使其水分含量增加,硬度和脆度明显提升,从而改善其感官品质。

关键词 微酸性电解水;小黄瓜;感官品质;蜡质

文章编号 1009-7848(2024)09-0287-10 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.09.027

我国果蔬种类众多,它们所含营养素颇为丰富,有人体必需的维生素、无机盐、膳食纤维等,已成为人们重要的食物及营养来源。目前,针对微酸性电解水对果蔬的食用安全性已有大量报道,研究表明,微酸性电解水能有效杀菌^[1],主要通过其生成的 HClO 和 Cl₂ 等干扰细胞内蛋白质合成导致代谢失衡并造成 DNA 损伤^[2-3]。可有效去除农药残留^[4],通过其产生大量活性氧和羟自由基使农药的化学键(P=S、C=O 双键)断裂,发生氧化反应,最终降解成小分子物质^[5-6]。然而,使用微酸性电解水对果蔬清洗、消毒时,其感官品质的变化不可忽视。目前,电解水对果蔬感官品质的影响仅有少量报道,如朱军伟等^[7]研究表明酸性电解水可维持鲜切黄瓜的感官品质和硬度,延长货架期 2~4 d。Hao 等^[8]发现微酸性电解水可有效维持香菜在储存 14 d 期间的硬度。Hung 等^[9]在草莓和西兰花中也证实电解水处理不影响其品质,能延长其贮存期。然而,Wang 等^[10]研究发现用酸性电解水(pH 2.45, ACC 16.8 mg/L)处理香菜,其硬度始终低于自来水处理。具体影响机制仍需探究。蜡质是存在于果蔬表皮,由多种脂类物质构成的疏水层,对于维持果蔬水分的扩散及细胞壁,抑制细菌滋生以及抵

抗病虫害具有重要作用^[11],有关电解水作用对其结构的影响尚未见研究报道。

本研究在前人研究基础上,以小黄瓜为研究对象,采用实验室自制便携式杀菌消毒仪制备电解水对其进行处理,并以家庭中常用的自来水清洗作对照,研究该制备的微酸性电解水对其感官品质、表皮蜡质组分和微观结构的影响,为电解水在果蔬清洁及食用品质提升方面的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

材料:选取新鲜无机械损伤的小黄瓜,购自当地永辉超市。

主要试剂:硫代硫酸钠、无水碳酸钠、可溶性淀粉,国药集团化学试剂有限公司;碘化钾、乙酸、二氯甲烷,西陇化工股份有限公司;羟自由基测试盒,南京建成生物工程研究所;三氯甲烷,上海凌峰化学试剂有限公司;N,O-双(三甲基硅)三氟乙酰胺(含三甲基氯硅烷)硅烷化试剂(用于 GC 衍生化)、正二十四烷标准品(1 g,用于做内标物),上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

便携式杀菌消毒仪,实验室自制;精密 pH 计,梅特勒-托利多公司;7890A-5975C 型气质联用仪(GC-MS),美国安捷伦科技有限公司;固相微萃取装置,手动 SPME 进样器,萃取针头为 50/30 μm

收稿日期:2023-09-07

基金项目:浙江省自然科学基金探索项目(LQ20C200003)

第一作者:范雅柔,女,硕士生

通信作者:韩剑众 E-mail: hanjz99@zjsu.edu.cn

PDMS/CAR/DVB(2 cm)萃取纤维头,美国 Supelco 公司;便携式氧化还原电位测量仪,柯迪达 CT-8022 笔式 ORP 计;物性分析仪(TA-XT plus),英国 Stable Micro System 公司;扫描电子显微镜,蔡司 Sigma300;冷冻干燥机,宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 电解水理化性质的测定

1.3.1.1 电解水的制备 取 500 mL 自来水,使用便携式杀菌消毒仪(图 1)处理 5,10,15,20 min,电解水在 5 min 内完成各指标检测。该仪器主要由两部分组成,分别为电路控制单元及电化学消毒单元,两者通过正负极导线相连接,该装置采用电极复合处理及电压极性切换的技术手段以提升杀菌效率及延长使用寿命。

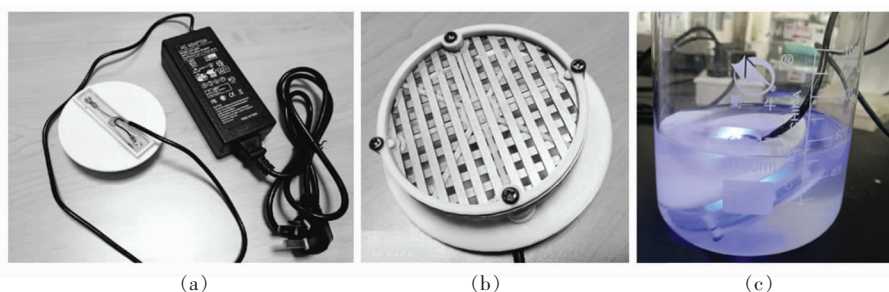


图 1 便携式杀菌消毒仪样机(a)、电化学消毒单元图(b)、仪器工作图(c)

Fig.1 Portable sterilizing instrument prototype (a), electrochemical disinfection unit diagram (b), instrument working diagram (c)

1.3.1.2 电解水 pH 值、氧化还原电位(ORP)、有效氯浓度(ACC)和产生羟自由基能力的测定 对处理 5,10,15,20 min 的电解水,使用 pH 计、便携式氧化还原电位测量仪测定 pH 值及 ORP 值。参考万阳芳^[12]的方法,使用碘量法测定有效氯浓度,采用比色法使用羟自由基测试盒测定电解水产生羟自由基的能力。每组连续测 7 d,每天做 3 次重复,分析数据稳定性。

1.3.2 小黄瓜清洗质构检测 用 3 倍黄瓜质量的自来水和电解水各处理 5,10,15,20 min,以未处理为对照。经处理的小黄瓜切头去尾,取中间部分,平均分成 3 段,每段约 3 cm。使用物性分析仪对小黄瓜穿刺试验,选用 P/2 柱型探头,穿刺位置为带皮一侧上下左右 4 个点,测前、测中、测后的速率分别为 1.0,1.0,5.0 mm/s,穿刺距离为 10 mm,触发力值为 5 g,数据采集率为 250 pps,对其表皮硬度、表皮厚度、果肉硬度及脆度数据进行采集。每组数据采用 3 根小黄瓜获得,每组做 3 次重复。

1.3.3 水分含量测定 按照 GB 5009.3-2016 测定各组样品水分含量,每组做 3 次重复。

1.3.4 风味物质检测

1.3.4.1 样品分组与处理 自来水及电解水各处理 20 min,以未处理为对照。将其切块,四分法取样匀浆破碎,3 层纱布过滤,保留滤液,取 8 mL 滤液移入 15 mL 萃取瓶中,加入 2.4 g 氯化钠,加入搅拌子,快速密封。将萃取瓶置于固相微萃取装置上 50 ℃预热 15 min;SPME 萃取头插入高于样品上表面约 1.0 cm,顶空萃取 40 min;拔出萃取头,将其插入 GC-MS 进样口,推出纤维头,于 250 ℃解析 3 min,进样分析。

1.3.4.2 仪器条件 色谱柱为 HP-5MS (30.0 m×250 μm,0.25 μm);起始温度 50 ℃保持 4 min,以 5 ℃/min 的速度升至 95 ℃保持 1 min,以 5 ℃/min 的速度升至 180 ℃保持 1 min,以 15 ℃/min 的速度升至 260 ℃保持 2 min;气化室温度 250 ℃;载气 He(1.0 mL/min);不分流。质谱条件:EI 源;电子能量 70 eV;离子源温度 230 ℃;扫描模式为 Scan。对测出风味物质组分采用质谱数据库 NIST11 和保留时间进行定性分析;使用面积归一化法分析各组分含量。

1.3.5 表皮蜡质组分检测

1.3.5.1 蜡质提取 采用电子游标卡尺测量果实横径(d_1 ,mm),将果实旋转 90°,测量一次横径(d_2 ,mm),果实纵径(h ,mm)。果实表面积按照公式(1)计算^[13]:

$$S = 4 \times \pi \times (d_1 + d_2 + h)^2 / 36 \tag{1}$$

自来水及电解水各处理 20 min,以未处理为对照,每组随机选取 3 个样品,3 个样品依次浸泡于混合溶剂中提取总蜡。参照李珍慈等^[14]研究方法,将果实浸没于三氯甲烷/二氯甲烷(2:1,V/V)混合溶剂中,料液比为 40%,不断用玻璃棒搅动,不可破坏果实的表皮,提取时间 75 s。果实表皮总蜡含量按照公式(2)计算^[13]:

$$\text{总蜡含量}(\mu\text{g}/\text{cm}^2) = 10^8 \times (m_2 - m_1) / S \tag{2}$$

式中: S 为 3 个果实的总表面积, mm^2 ; m_2 为烧杯和蜡质总质量,g; m_1 为原烧杯质量,g。

1.3.5.2 表皮蜡质定性定量分析 参照曹跃^[13]的方法对果蔬表皮蜡质衍生化反应,随后在 GC-MS 中进样检测。色谱条件:色谱柱为 HP-5MS(30.0 $\text{m} \times 250 \mu\text{m}$, $0.25 \mu\text{m}$);起始温度 80 $^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min,以 15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度升至 260 $^{\circ}\text{C}$ 保持 10 min,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速度升至 320 $^{\circ}\text{C}$ 保持 15 min;气化室温度 260 $^{\circ}\text{C}$;载气 He(1.0 mL/min);分流 10:1。质谱条件:EI 源;电子能量 70 eV;离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$;扫描模式为 Scan。对蜡质组分定性定量分析,绝对含量用内标法定量。

1.3.5.3 表皮蜡质微观结构观察 将处理完的样品在室温下自然晾干,用刀片在果实的赤道处切取长宽各为 5 mm 厚度约为 0.5 mm 的块状,冷冻干燥,利用扫描电子显微镜观察。

1.3.6 数据处理 采用 Excel 2016 对数据整理分析,采用 SPSS 26.0 进行 Duncan 方差分析,最

小差异显著性水平为 5%,采用 Graphpad Prism 和 OriginPro 2022 绘图。

2 结果与分析

2.1 电解水理化性质

在测定周期内,便携式消毒杀菌仪所制备电解水的理化指标值是稳定的,未有随机波动(表 2)。由表 1 可见,与 TW 相比,电解处理使得 EW 的 pH 值呈明显下降(多为微酸性),ORP 值、ACC 值以及产生羟自由基能力呈明显上升,且电解时间越长,变化程度越高。TW 的 pH 值为 7.34,经电解处理 20 min 后,其 pH 值减小至 6.11。ORP 值虽然随电解时间延长而增大,如电解处理时间由 5 min 增加至 20 min,ORP 值由 38.14 显著上升至 71.38,但是仍旧远低于 TW 的 ORP 值(327.43)。TW 的 ACC 值和产生羟自由基能力无法测出,但经电解处理后,EW 的 ACC 值和产羟自由基能力显著提升,电解处理时间由 5 min 增加至 20 min 时,ACC 值由 0.63 显著上升至 1.60 mg/L ,产生羟自由基能力由 1.35 显著上升至 5.39 U/mL 。

本研究所制备电解水以自来水为电解原溶液,与现有报道相比^[15],此电解水 OPR 值和 ACC 值相对较低,仅为含盐类电解水的 5%~10%,这与其 pH 值呈微酸性有关,pH 值的大小与添加 NaCl 等盐类物质的浓度有关;而在相同 pH 值下,此电解水产生羟自由基能力远高于含盐类电解水($-20 \sim 0 \text{ U}/\text{mL}$)^[12];并且,通过分析 4 个理化指标可发现,在较高 pH 值时,ORP 值、ACC 值与产生羟自由基能力值相对较低,而在较低 pH 值时,其它 3 个理化指标均增大,羟自由基的产生较多,这与万阳芳^[12]的研究结果相似。

表 1 自来水与电解不同时间水的理化性质测定结果

Table 1 Determination of physical and chemical properties of tap water and electrolyzed water at different times				
组别	pH 值	ORP 值	ACC/(mg/L)	产生羟自由基能力/(U/mL)
TW	7.34 ± 0.15^a	327.43 ± 7.06^a	—	—
EW(5 min)	6.60 ± 0.13^b	38.14 ± 8.11^d	0.63 ± 0.03^c	1.35 ± 0.12^d
EW(10 min)	6.40 ± 0.16^c	54.81 ± 7.43^e	1.09 ± 0.07^b	2.56 ± 0.04^c
EW(15 min)	6.19 ± 0.13^d	69.86 ± 13.44^b	1.56 ± 0.05^a	4.38 ± 0.21^b
EW(20 min)	6.11 ± 0.22^d	71.38 ± 12.54^b	1.60 ± 0.09^a	5.39 ± 0.27^a

注:TW:自来水;EW:电解水;“—”表示未检出;组间显著性差异由不同的小写字母表示($P < 0.05$)。

表 2 自来水及电解水在 7 d 测定周期内各理化性质测定值

Table 2 Physical and chemical properties of tap water and electrolysis water at different times within 7 d								
理化性质	组别	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
pH 值	TW	7.28	7.32	7.46	7.27	7.18	7.29	7.59
	EW(5 min)	6.58	6.75	6.48	6.67	6.67	6.42	6.65
	EW(10 min)	6.29	6.62	6.37	6.50	6.24	6.23	6.53
	EW(15 min)	6.27	6.07	6.15	6.33	6.05	6.08	6.34
	EW(20 min)	6.38	6.14	5.96	6.18	5.99	5.76	6.39
ORP 值	TW	333.00	334.67	325.67	314.33	326.00	328.33	330.00
	EW(5 min)	35.00	41.67	44.33	47.67	24.67	35.67	38.00
	EW(10 min)	50.00	57.00	60.00	43.00	58.67	53.33	61.67
	EW(15 min)	50.67	68.33	64.67	90.67	75.67	63.67	75.33
	EW(20 min)	69.33	80.67	72.33	74.33	52.67	64.00	86.33
ACC 值/(mg/L)	TW	—	—	—	—	—	—	—
	EW(5 min)	0.64	0.67	0.60	0.64	0.60	0.62	0.65
	EW(10 min)	1.13	1.21	1.06	1.03	1.10	1.03	1.08
	EW(15 min)	1.60	1.52	1.49	1.56	1.56	1.63	1.58
	EW(20 min)	1.68	1.49	1.49	1.67	1.68	1.56	1.61
产生羟自由基能力/(U/mL)	TW	—	—	—	—	—	—	—
	EW(5 min)	1.17	1.54	1.22	1.43	1.36	1.41	1.35
	EW(10 min)	2.56	2.53	2.54	2.53	2.54	2.64	2.55
	EW(15 min)	4.33	4.08	4.26	4.73	4.20	4.61	4.41
	EW(20 min)	5.65	5.18	5.78	5.50	4.91	5.29	5.38

注:TW:自来水;EW:电解水;“—”表示未检出。

2.2 电解水对小黄瓜质构的影响

硬度和脆度是反映果蔬质地的关键属性^[16]。由图 2a、2c 和 2d 可知,小黄瓜表皮硬度、果肉硬度和脆度在两种处理方式下均随处理时间延长而增加,当处理 20 min 时,使用 EW 比 TW 处理更能显著提升小黄瓜的表皮硬度和脆度,EW 处理后使表皮硬度分别比 TW 和 Control 增加 6.7%和 8.6%;脆度分别比 TW 和 Control 增加 7.5%和 15.7%;EW 和 TW 处理对果肉硬度无显著性影响。由图 2b 可知,小黄瓜表皮厚度在两种处理方式下均随处理时间延长而降低,当处理 20 min 时,使用 EW 比 TW 处理更能显著降低小黄瓜的表皮厚度,EW 处理后其表皮厚度为 1.5 mm,分别比 TW 和 Control 下降 11.1%和 12.4%。

研究表明,EW 处理 20 min 能显著提升小黄瓜的果肉硬度和脆度,降低其表皮厚度,表明电解水处理影响小黄瓜的质构,使得脆度和硬度增大,口感变好。该现象与朱军伟等^[7]关于黄瓜的

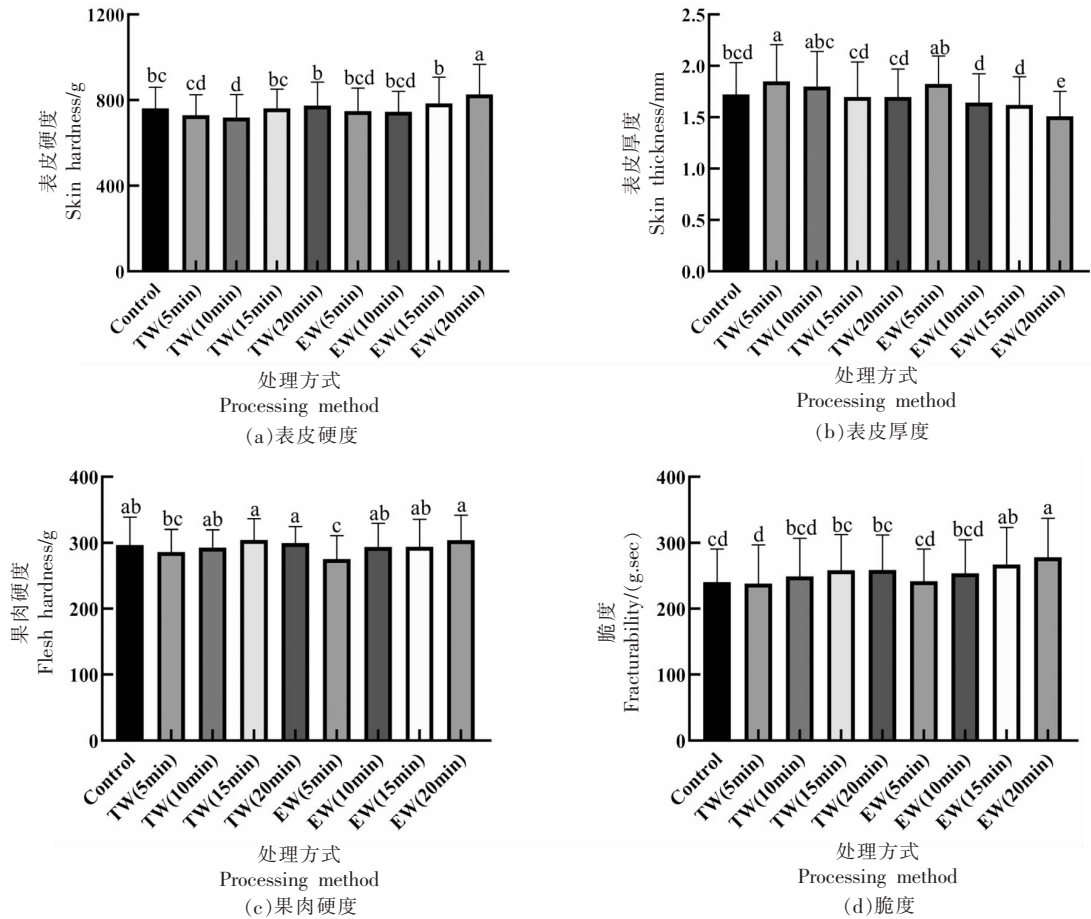
研究结果一致。本研究发现 EW 处理对小黄瓜质构无不良影响,这与 Liu 等^[4]的研究结果一致,他们发现酸性电解水处理甘蓝、西兰花和彩椒,其质构与对照组相比无显著性差异。

2.3 电解水对小黄瓜水分含量的影响

由图 3 可知,小黄瓜的水分含量经 TW 和 EW 处理后有所增加,分别比 Control 提升 0.24%,2.46%;经 EW 处理后,其水分含量显著上升至 96.8%,比 TW 处理提升 2.23%。试验结果表明,EW 处理能显著提升小黄瓜水分含量。

2.4 电解水对小黄瓜风味物质的影响

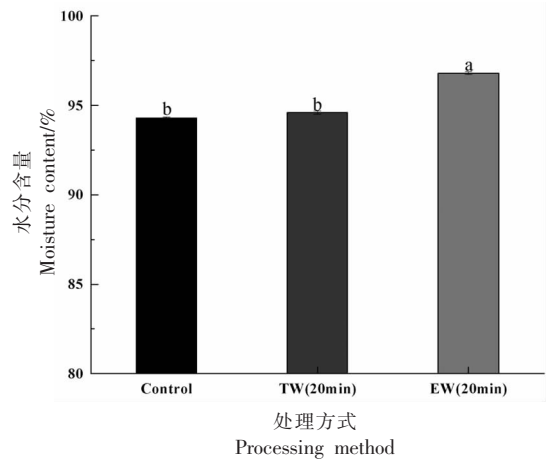
香气对果蔬的整体风味有极大影响,风味是由果蔬中挥发性化合物混合而成^[17],有其中一部分挥发性物质用来表征果蔬的特征风味物质^[18]。有研究表明,使用常规电解水(ACC 为 100 mg/L)处理可使得樱桃番茄味道和风味品质降低^[19]。本研究中,小黄瓜各处理组风味物质经 SPME-GC-MS 分析得到总离子流图如图 4,并对其进行谱图



注:Control;对照组;TW:水处理;EW:电解水处理;组间显著性差异由不同的小写字母表示($P<0.05$)。

图 2 小黄瓜在不同处理方式下各质构检测指标的比较

Fig.2 Comparison of texture detection indexes of cucumber under different treatments



注:Control;对照组;TW:水处理;EW:电解水处理;组间显著性差异由不同的小写字母表示($P<0.05$)。

图 3 不同处理方式下小黄瓜的水分含量

Fig.3 Moisture content of cucumber under different treatment methods

解析, 筛选出与质谱数据库 NIST11 中匹配度大于 80% 的物质作为有效挥发性化合物。由表 3 可知小黄瓜的有效挥发性物质有 17 种, 共检测出 5 大类风味物质, 与文献报道一致^[20]。醛类化合物为小黄瓜的主要特征风味物质, 在 Control、TW 和 EW 组中的相对含量分别为 85.35%、88.69% 和 85.53%, 在 Control 组中 *E*-2-己烯醛相对含量最高 (30.23%), 而在 TW 和 EW 组中 *E,Z*-2,6-壬二烯醛的相对含量最高 (分别为 36.51% 和 31.57%); 酮类相对含量次之, 分别为 2.32%、3.18% 和 2.94%; 少量的烷烃和烯烃存在于 Control 和 EW 组; 醇类化合物仅在 EW 组中检测出; 各组中有效挥发性风味物质的总相对含量无显著性差异。可见, 本研究由于所用电解水的 ACC 浓度较低, 对小黄瓜风味未产生不良影响。

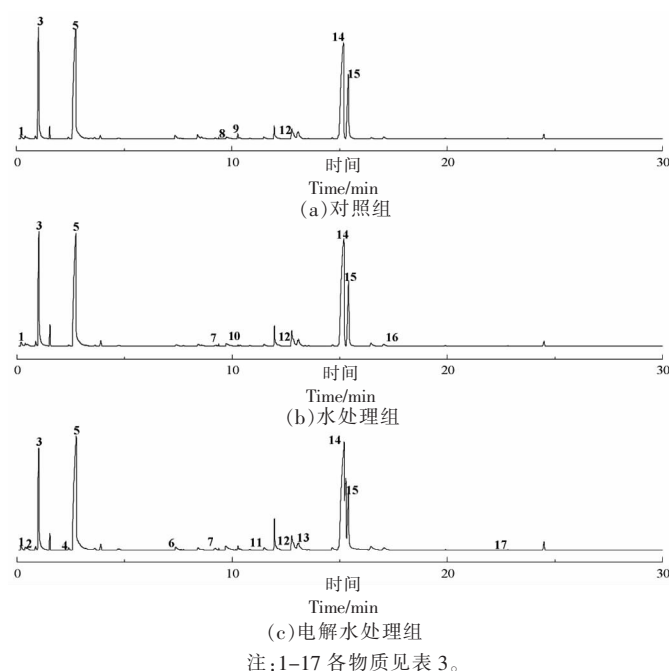


图 4 在不同处理方式下小黄瓜风味物质的总离子流图

Fig.4 Total ion flow diagram of cucumber flavor substances under different treatment methods

2.5 电解水对小黄瓜表皮蜡质组分的影响

由图 5 可知,小黄瓜表皮蜡质的组分主要包括:烷烃、烯烃、醇类、醚类、酸类和萜类物质,与文献报道一致^[21]。小黄瓜经 EW 处理后表皮蜡质总含量显著减少(降低 43.23%),EW 组萜类物质显著提高,比 Control 和 TW 组分别高 66.85% 和 53.42%;烷烃绝对含量最低;而对于烯烃、醇类、醚类、酸类和酯类物质,EW 组均未检出。据文献报道,烷烃主要分布在植物外表皮蜡质层中,而萜类化合物则在角质层中^[22-23],植物表皮蜡质受环境影响较大,环境温湿度的变化影响蜡质晶体的结构^[24],同时影响蜡质的总体含量^[25],因此,可以推测电解水可使小黄瓜外表皮蜡质分解,角质层暴露。本研究中 EW 处理使蜡质含量降低,则会损害细胞壁,这可能与 EW 中产生的羟基自由基有关, $\cdot\text{OH}$ 与蜡质中有机化合物发生化学反应。

2.6 电解水对小黄瓜表皮蜡质微观结构的影响

从图 6 Control 组的扫描电镜结果可看出,小黄瓜表皮蜡质层覆盖严实,且有多层重叠,表面较为粗糙,凹凸不平,有许多形状大小不一的凸起(A1);进一步放大,其表皮蜡质中有一条裂缝,将其分为表层蜡质及内层蜡质,表层蜡质上有众多

形状不规则的片状蜡质(A2)。样品经 TW 处理后,小黄瓜表皮中有较多条状蜡质晶体结构(B1);蜡质层状结构和气孔内陷,且气孔周围有丰富的蜡质(B2)。样品经 EW 处理后,表面蜡质层近似光滑平整(C1),与 Control 和 TW 组有明显的差异;放大到 20 000 倍下观察,表面蜡质层仅有局部的小凸起,蜡质层明显变薄,可观察到表皮气孔(C2)。经 EW 处理后,小黄瓜表皮蜡质晶体结构更加光滑平整,晶体数量显著减少,表皮蜡质层变薄,这与 Fernández 等^[26]的研究结果相似,其研究发现使用生成 $\cdot\text{OH}$ 的溶液处理辣椒果实表皮后,表皮形态退化现象明显,表皮厚度减小,角质层变薄,推测是酚类和黄酮类化合物与 $\cdot\text{OH}$ 反应的结果^[27]。因此,可推断电解水产生的羟基自由基能与表皮蜡质中组分发生反应,使角质层暴露。

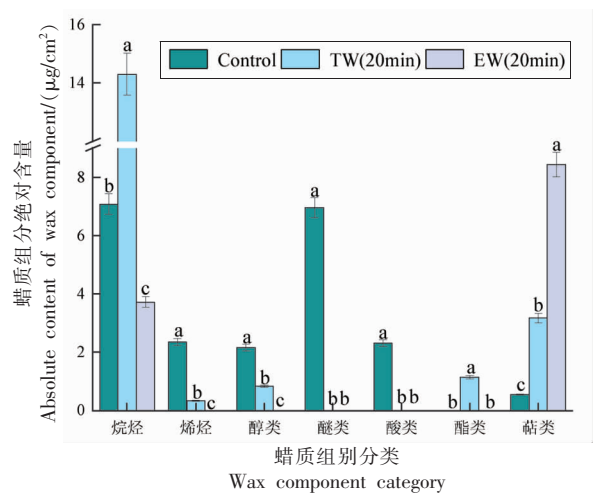
3 结论

本研究发现,经电解水处理后,小黄瓜表皮硬度、果肉硬度及脆度能显著提升,并且随电解时间延长,其表皮厚度越小;其风味物质总相对含量和醛类含量未发生显著性变化;表明电解水能在不损伤小黄瓜风味的前提下改善其感官品质。与 TW

表 3 小黄瓜在不同处理方式下各风味物质成分及相对含量

Table 3 Components and relative contents of flavor substances of cucumber under different treatment methods								
序号	保留时间/min	中文名称	英文名称	分子式	分子质量	相对含量/%		
						对照	TW	EW
1	0.21	(E)-2-戊烯醛	2-Pentenal, (E)-	C ₅ H ₈ O	84.06	0.41	0.55	0.53
2	0.39	1-戊醇	1-Pentanol	C ₅ H ₁₂ O	88.09	—	—	0.38
3	1.02	己醛	Hexanal	C ₆ H ₁₂ O	100.09	13.46	12.97	10.96
4	2.40	7-氧杂环[4,1,0]庚烷	7-Oxabicyclo[4.1.0]heptane	C ₆ H ₁₀ O	98.07	—	—	0.33
5	2.74	(E)-2-己烯醛	2-Hexenal, (E)-	C ₆ H ₁₀ O	98.07	30.23	28.19	30.95
6	7.39	(E)-2-庚烯醛	2-Heptenal, (E)-	C ₇ H ₁₂ O	112.09	—	—	0.61
7	9.23	(E,E)-2,4-庚二烯醛	2,4-Heptadienal, (E,E)-	C ₇ H ₁₀ O	110.07	—	0.12	1.32
8	10.17	柠檬烯	Limonene	C ₁₀ H ₁₆	136.12	0.01	—	—
9	10.27	戊基环戊烷	Cyclopentane, pentyl-	C ₁₀ H ₂₀	140.16	0.49	—	—
10	10.28	4,4-二甲基-1,3-环己烷二酮	1,3-Cyclohexanedione, 4,4-dimethyl-	C ₈ H ₁₂ O ₂	140.08	—	0.09	—
11	11.49	(E)-2-辛烯醛	2-Octenal, (E)-	C ₈ H ₁₄ O	126.10	—	—	0.51
12	12.78	3,5-辛二烯-2-酮	3,5-Octadien-2-one	C ₈ H ₁₂ O	124.09	2.32	3.09	2.94
13	13.09	7-甲基-3,4-辛二烯	3,4-Octadiene, 7-methyl-	C ₉ H ₁₆	124.12	—	—	1.39
14	15.18	(E,Z)-2,6-壬二烯醛	2,6-Nonadienal, (E,Z)-	C ₉ H ₁₄ O	138.10	29.57	36.51	31.57
15	15.41	(E)-2-壬烯醛	2-Nonenal, (E)-	C ₉ H ₁₆ O	140.12	11.68	10.31	9.08
16	18.15	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-羧醛	1-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 2,6,6-trimethyl-	C ₁₀ H ₁₆ O	152.12	—	0.04	—
17	22.82	十三烷	Tridecane	C ₁₃ H ₂₈	184.22	—	—	0.05
总计						88.17 ± 0.88 ^a	91.87 ± 0.92 ^a	90.62 ± 0.91 ^a

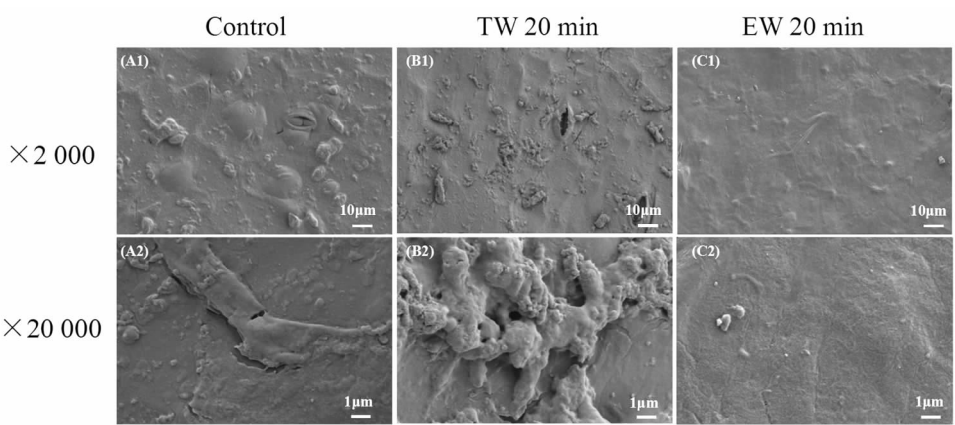
注:Control;对照组;TW;水处理组;EW;电解水处理组;“—”表示未检出。



注:Control:对照组;TW:水处理组;EW:电解水处理;组间显著性差异由不同的小写字母表示($P<0.05$)。

图 5 不同处理方式下小黄瓜表皮蜡质各类别的绝对含量

Fig.5 Absolute content of various types of cuticular wax of cucumber under different treatment methods



注:Control:对照组;TW:水处理;EW:电解水处理;×2 000、×20 000 分别是在扫描电子显微镜下 2 000、20 000 倍观察。

图 6 在不同处理方式下小黄瓜表皮蜡质结构的扫描电镜图

Fig.6 Scanning electron microscope of cuticular wax structure of cucumber under different treatments

水洗相比,EW 处理使得小黄瓜表皮蜡质总含量下降程度显著提升 35.6%,并且有机物组成中烷烃含量减少、萜类含量增加,表皮蜡质微观结构更加光滑平整,电解水能通过清除小黄瓜外层表皮蜡质,进而改变其感官品质。EW 清洗后即食的小黄瓜表皮蜡质层变薄、在渗透压作用下外界水分进入其组织内部、继而使得其硬度和脆度提升。

参 考 文 献

[1] TANTRATIAN S, KAEPHEN K. Shelf -life of shucked oyster in epigallocatechin -3 -gallate with

slightly acidic electrolyzed water washing under refrigeration temperature [J]. LWT -Food Science & Technology, 2020, 118: 108733.

[2] LIU Q, WU J, LIM Z Y, et al. Metabolite profiling of *Listeria innocua* for unravelling the inactivation mechanism of electrolysed water by nuclear magnetic resonance spectroscopy [J]. International Journal of Food Microbiology, 2018, 271: 24-32.

[3] YE Z, WANG S, CHEN T, et al. Inactivation mechanism of *Escherichia coli* induced by slightly acidic electrolyzed water[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 6279.

[4] LIU Y, WANG J, ZHU X, et al. Effects of elec-

- trollyzed water treatment on pesticide removal and texture quality in fresh-cut cabbage, broccoli, and color pepper[J]. Food Chemistry, 2021, 353: 129408.
- [5] 李慧颖, 李嘉欣, 郝建雄. 微酸性电解水对溶液体系中有机磷农药的降解机制及途径分析研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(5): 1906–1913.
- LI H Y, LI J X, HAO J X. Study on the degradation mechanism and pathway of organophosphorus pesticides in solution systems by slightly acidic electrolytic water [J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2021, 12(5): 1906–1913.
- [6] 乌云达来, 郝建雄, 刘海杰. 酸性电解水对苹果表面毒死蜱降解效果及降解途径分析[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 85–93.
- WUYUN D L, HAO J X, LIU H J. Analysis of the degradation effect and pathway of chlorpyrifos on apple surface by acidic electrolyzed water[J]. Food Industry Technology, 2021, 42(17): 85–93.
- [7] 朱军伟, 谢晶, 林永艳, 等. 清洗条件对切割黄瓜贮藏品质和安全性的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(20): 320–323.
- ZHU J W, XIE J, LIN Y Y, et al. Effects of cleaning conditions on storage quality and safety of cut cucumber[J]. Food Industry Technology, 2012, 33(20): 320–323.
- [8] HAO J, LI H, WAN Y, et al. Effect of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) treatment on the microbial reduction and storage quality of fresh-cut cilantro[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2015, 39(6): 559–566.
- [9] HUNG Y, BAILLY D, KIM C, et al. Effect of electrolyzed oxidizing water and chlorinated water treatments on strawberry and broccoli quality [J]. Journal of Food Quality, 2010, 33(5): 578–598.
- [10] WANG H, FENG H, LUO Y. Microbial reduction and storage quality of fresh-cut cilantro washed with acidic electrolyzed water and aqueous ozone[J]. Food Research International, 2004, 37(10): 949–956.
- [11] 黄世安, 董晓庆, 朱守亮. 园艺植物表皮蜡质研究进展[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(1): 6–10.
- HUANG S A, DONG X Q, ZHU S L. Research progress in epidermal wax of horticultural plants[J]. Anhui Agricultural Science, 2021, 49(1): 6–10.
- [12] 万阳芳. 电解离子水降解果蔬中有机磷农药作用机理研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2015.
- WAN Y F. Study on the mechanism of degradation of organophosphorus pesticides in fruits and vegetables by electrolytic ionized water[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2015.
- [13] 曹跃. 干湿地区苹果果皮蜡质差异研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- CAO Y. Study on the difference of apple peel wax quality in dry and wet regions[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2020.
- [14] 李珍慈, 江英, 秦婕, 等. 库尔勒香梨表皮蜡质提取条件研究及成分分析[J]. 中国酿造, 2016, 35(4): 158–162.
- LI Z C, JIANG Y, QIN J, et al. Study on the extraction conditions and component analysis of the epidermal wax from Korla fragrant pear[J]. China Brewing, 2016, 35(4): 158–162.
- [15] WANG J J, LIN T, LI J B, et al. Effect of acidic electrolyzed water ice on quality of shrimp in dark condition[J]. Food Control, 2014, 35(1): 207–212.
- [16] HAMPSON C R, STANICH K, MCKENZIE D L, et al. Determining the optimum firmness for sweet cherries using Just-About-Right sensory methodology [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 91: 104–111.
- [17] GOU M, BI J, CHEN Q, et al. Advances and perspectives in fruits and vegetables flavor based on molecular sensory science[J]. Food Reviews International, 2023, 39(6): 3066–3079.
- [18] VATTHANAKUL S, JANGCHUD A, JANGCHUD K, et al. Gold kiwifruit leather product development using quality function deployment approach[J]. Food Quality and Preference, 2010, 21(3): 339–345.
- [19] JU S Y, KO J J, YOON H S, et al. Does electrolyzed water have different sanitizing effects than sodium hypochlorite on different vegetable types? [J]. British Food Journal, 2017, 119(2): 342–356.
- [20] ZHANG J, GU X, YAN W, et al. Characterization of differences in the composition and content of volatile compounds in cucumber fruit [J]. Foods, 2022, 11(8): 1101.
- [21] 安静波, 刘小凤, 王文娇, 等. 黄瓜果皮蜡质构成及其影响因素分析[C]//中国园艺学会黄瓜分会第四届年会论文摘要集. 广州: 中国园艺学会, 2013: 16.
- AN J B, LIU X F, WANG W J, et al. Analysis of the wax composition of cucumber peel and its influencing factors[C]//Summary of Papers at the Fourth

- Annual Conference of the Cucumber Branch of the Chinese Horticultural Society. Guangzhou: Chinese Horticultural Society, 2013: 16.
- [22] GNIWOTTA F, VOGG G, GARTMANN V, et al. What do microbes encounter at the plant surface? Chemical composition of pea leaf cuticular waxes[J]. Plant Physiology, 2005, 139(1): 519–530.
- [23] WEN M, BUSCHHAUS C, JETTER R. Nanotubules on plant surfaces: Chemical composition of epicuticular wax crystals on needles of *Taxus baccata* L[J]. Phytochemistry, 2006, 67(16): 1808–1817.
- [24] KOSMA D K, BOURDENX B, BERNARD A, et al. The impact of water deficiency on leaf cuticle lipids of Arabidopsis[J]. Plant Physiology, 2009, 151(4): 1918–1929.
- [25] ARMSTRONG D J, WHITECROSS M I. Temperature effects on formation and fine structure of *Brassica napus* leaf waxes [J]. Australian Journal of Botany, 1976, 24(3): 309–318.
- [26] FERNNDEZ S, OSORIO S, HEREDIA A. Monitoring and visualising plant cuticles by confocal laser scanning microscopy[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 1999, 37(10): 789–794.
- [27] TIEDEMANN A V. Evidence for a primary role of active oxygen species in induction of host cell death during infection of bean leaves with *Botrytis cinerea* [J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 1997, 50(3): 151–166.

Effects of Slightly Acidic Electrolyzed Water on Sensory Quality of Cucumber

Fan Yarou, Cao Yanyun, Han Jianzhong*

(School of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018)

Abstract Objective: To explore the effect of slightly acidic electrolyzed water on the sensory quality of fruits and vegetables and preliminarily explore its mechanism. Methods: Selecting cucumber as the research object, using a physical property analyzer to determine its texture indicators, using solid phase microextraction combined with GC–MS to compare and analyze its flavor substances, further explore the composition and structural changes of its epidermal wax, using GC–MS technology to qualitatively and quantitatively analyze its epidermal wax components, and using scanning electron microscopy to observe its microstructure. Results: Treatment with slightly acidic electrolytic water for 20 minutes significantly increased the skin hardness, flesh hardness, and crispness of cucumber, decreased its skin thickness, and its flavor substances were not affected. The total content of epidermal wax decreased significantly, with a trend of decreasing alkane content and increasing terpene content. The microstructure of epidermal wax became smoother and smoother. Conclusion: Slightly acidic electrolytic water can improve the sensory quality of cucumber by decomposing the wax in the outer epidermis, exposing the cuticle, and exchanging external substances through the pores of the epidermis, thereby increasing its moisture content, significantly improving its hardness and fracturability.

Keywords slightly acidic electrolytic water; cucumber; sensory quality; waxy