

基于主成分分析法分析超高压处理对黄瓜水香气的影响

马辉, 王亚超, 马永昆, 张海宁, 邓娜娜, 王行

(江苏大学食品与生物工程学院, 江苏镇江 212013)

摘要: 采用顶空固相微萃取与气相色谱-质谱仪联用技术对超高压处理前后黄瓜水的香气成分进行测定, 并应用主成分分析法对超高压黄瓜水的香气成分进行分析。结果表明, 从黄瓜水中检测出 33 种香气成分, 主要是醇类和醛类, 其中含 7 种特征性香气成分, (E,Z)-2, 6-壬二烯醛含量最高, 占香气总量的 27.23%; 通过主成分分析法得出, 第 1 主成分的贡献率为 65.67%, 第 2 主成分的贡献率为 27.71%, 前两个主成分的累积贡献率达到 93.38%, 可代表超高压黄瓜水香气变化趋势。不同超高压处理的黄瓜水分为 3 个类型是由于超高压处理对第 2 主成分的影响造成的, 未高压处理黄瓜水单独分为一类是由于超高压处理对第 1 主成分和第 2 主成分的共同影响造成的, 表明采用主成分分析法作为超高压黄瓜水香气品质的客观评价方法是可行的。

关键词: 超高压; 黄瓜水; 香气; 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法; 主成分分析法

文章篇号: 1673-9078(2014)3-220-226

Effect of Ultra-high Pressure Treatment on Aroma Compounds in Cucumber Water Analyzed by Principal Component

MA Hui, WANG Ya-chao, MA Yong-kun, ZHANG Hai-ning, DENG Na-na, WANG Xing

(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: In this study, the aroma components in cucumber water before and after ultra high pressure (UHP) treatments were investigated by solid phase microextraction (SPME) followed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) combined with principal component analysis. The results showed that 33 aroma components in cucumber water were detected and the majorities were alcohols and aldehydes. Seven of them were characteristic, and the content of (E,Z)-2,6-nonadienal was the highest, accounting for 27.23% of the total aroma components. The results of the principal component analysis showed that the rate of the first and second principal components was 65.67% and 27.71%, respectively. The cumulative rate of the first and second principal components was 93.38%, which was stand for the change of aroma components in cucumber water. The cucumber water treated by different ultra high pressures was divided into three groups, due to the effect of the different pressures to the second principal component. The untreated cucumber water was separated from the three groups because of the different pressure treatments to the first and second principal components. Thus, principal component analysis was feasible to study the aroma components in cucumber water treated by ultra high pressure.

Key words: ultra-high pressure; cucumber water; aroma components; solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry; principal component analysis

超高压技术 (ultra-high pressure, UHP) 是指在室温或者温和热条件下利用 100~1000 MPa 的压力达到杀菌钝酶目标的非热杀菌技术。该技术具有能有效杀灭腐败菌和致病菌, 不会降低产品的感官和营养价值,

收稿日期: 2013-10-22

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程资助项目 (PAPD)

作者简介: 马辉 (1988-), 男, 硕士生, 主要从事果蔬深加工、超高压食品的研究

通讯作者: 马永昆 (1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事食品非热加工、食品风味化学及食品发酵工程的研究

处理过程简单, 处理后无残留等优点, 是一种已被美国农业部食品安全与检查局 (USDA-FSIS) 认证并为消费者接受食品加工技术^[1], 而被广泛应用于食品工业。黄瓜水是采用本课题组的专利^[2], 以超高压技术为核心, 结合低温真空蒸馏技术加工而成的新型产品。采用超高压技术对黄瓜水进行杀菌的同时能够更好的保持其自然的黄瓜香气, 避免热加工带来的煮熟味, 可直接作为高端饮用水, 也可作为化妆品用水等, 克服了采用臭氧、紫外杀菌带来的异味, 是一款带有天然果蔬香气的健康水。

目前,对香气的评价主要采用感官评价法来进行,由于感官评价受到感官评价人员的主观、环境等因素的影响,其客观性受到一定程度的限制^[3]。主成分分析是一种多元统计分析技术,它是一种降维或者把多个指标转化为少数几个综合指标的一种方法,主成分分析的目的是简化数据和揭示变量间的关系,其作为一种客观的多元分析方法已被应用于农作物及其产品的品种判别、产品类型的判别以及加工工艺的判别等方面,如 Ong B T^[4]等采用主成分分析法根据香气物质含量的差异对 5 种榴莲品种进行区别; Zou Xiaobo^[5]采用主成分分析法结合其它分析方法对 3 个品种苹果的香气成分进行分析; Mi-Hee Chun^[6]采用 SPME-GC-MS 法对荆芥的香气成分进行测定后采用主成分分析法对 19 个不用品种的荆芥进行分类。

本研究以黄瓜为原料,采用低温真空蒸馏联合超高压技术制取黄瓜水,应用顶空固相微萃取结合气相色谱和质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)测定不同超高压处理条件下黄瓜水的香气组成及含量,并对香气物质进行主成分分析,对不同超高压处理的黄瓜水进行客观分类并分析差异性的来源,旨在为果蔬香气品质的评价提供一种新的思路,并为黄瓜在生产中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黄瓜,购于镇江市东风菜市场,产地山东寿光;氯化钠(分析纯)、1-丙醇(色谱纯),购于国药集团化学试剂有限公司;抗坏血酸(分析纯),购于成都市科龙化工试剂厂。

1.2 仪器与设备

超高压食品处理装置(3 L/800 MPa),包头科发高压科技有限责任公司;手动式塑料薄膜封口机,浙江省永嘉水电机械厂;BS224S 电子天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司;RE-2000 旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂;SHB-III 循环水式多用真空泵,郑州长城科工贸有限公司;JYZ-E8 榨汁机,九阳股份有限公司;Avanti Centrifuge J-25 型冷冻离心机,Beckman 公司;75 μm Carboxen/PSMS 萃取纤维头,美国 Supelco 公司;手动 SPME 进样器,美国 Supelco 公司;PC-42 电热磁力搅拌器,美国 Corning 公司;Agilent6890-5973 气质联用仪,美国 Agilent 公司。

1.3 方法

1.3.1 黄瓜水制备

取新鲜黄瓜,用自来水清洗 3 遍,再用蒸馏水冲洗后晾干,切块放入榨汁机中榨汁,加入质量分数为 0.13% 抗坏血酸护色,再用离心机离心(5000 r/min, 10 min)得到黄瓜汁。取 300 mL 黄瓜汁于旋转蒸发器蒸馏烧瓶中,冷却水温度为 10 $^{\circ}\text{C}$,真空度为 0.09 MPa,在 40 $^{\circ}\text{C}$ 条件下真空蒸馏 1 h,收集馏出液即为黄瓜水。

1.3.2 超高压处理

取黄瓜水于高压袋中密封,不留气泡,每袋 20 mL,每 3 袋于双层高压袋密封后于冰水浴中存放,待高压处理。经过预实验确定处理条件为压力 400 MPa,分别处理 5、10、15、20 min,以及处理压力为 450、500、550 MPa,均处理 5 min,分别记为 400/5、400/10、400/15、400/20、450/5、500/5 和 550/5,空白样品编号为 0/0,高压处理时间不包括升压和解压时间。传压介质为癸二酸二辛酯,升压速度 300 MPa/min,解压时间 8~10 s,高压腔内温度为室温。高压处理完之后将样品袋于 4 $^{\circ}\text{C}$ 保藏并在 24 h 内检测。

1.3.3 顶空固相微萃取

先将萃取头在气相色谱的进样口于 250 $^{\circ}\text{C}$ 老化至无杂峰。取 5 mL 黄瓜水于 15 mL 顶空瓶中,添加 1.0 g NaCl 分析纯盐,盖紧样品瓶盖,放在 40 $^{\circ}\text{C}$ 加热台上加热平衡 10 min,将固相微萃取器的萃取针头插入顶空瓶中,推出纤维头距离液面 1.5 cm,40 $^{\circ}\text{C}$ 顶空吸附 30 min,随后缩回纤维头,从样品瓶中拔出萃取针头,再将萃取针头直接插入气相色谱质谱联用仪,推出纤维头,于 250 $^{\circ}\text{C}$ 解析 5 min。

1.3.4 GC-MS 分析

色谱条件:DB-WAX 色谱柱(60 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);载气 He,流速 1.0 mL/min,不分流进样;进样口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$;经过预试验得到最好的程序升温条件为:起始温度 40 $^{\circ}\text{C}$,保持 1 min,以 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 140 $^{\circ}\text{C}$,再以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 200 $^{\circ}\text{C}$,保持 2 min。

质谱条件:接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$;离子源温度为 230 $^{\circ}\text{C}$;电离方式 EI^+ ,电子能量为 70 eV;质量扫描范围 33.00~400.00 amu;通过 HP-Chemstation System 工作站采集和处理数据。

1.3.5 定性定量方法

定性方法:采用保留指数辅助质谱检索进行定性。
①质谱鉴定:对检测的挥发性成分通过 NIST05 谱库进行检索,仅当正反匹配度均大于 800 的鉴定结果才予以确认;②保留指数鉴定:采用相同的升温程序,以 C6~C25 的正构烷烃作为标准,以其保留时间计算测试样品中化合物保留指数(RI),并与相同条件下纯

物质的保留指数以及其它文献测定的保留指数进行比较,对化合物进行确认。保留指数(RI)的计算公式为:

$$RI = 100 \times \left(\frac{Rt(x) - Rt(n)}{Rt(n+1) - Rt(n)} \right) + n$$

注:其中 Rt(x), Rt(n), Rt(n+1)分别为待测挥发物、含 n 及 n+1 个碳原子的正构烷烃的保留时间

③参考相关文献予以进一步确认。

定量方法:将 0.2 μL 的内标物 1-丙醇加入到 5 mL 黄瓜水样品中,运用面积归一化法,计算各香气成分峰面积与内标峰面积之比值计算求得其浓度,每个样品重复试验三次。

1.4 数据处理和分析

采用 SPSS17.0 软件进行主成分分析, Origin 7.5 进行制图。

2 结果与分析

2.1 黄瓜水香气成分分析

图 1 为不同超高压处理黄瓜水香气物质总离子图。经 GC-MS 分离和鉴定,各组分质谱用计算机谱库(NIST05)检索分析,未经高压处理黄瓜水的香气成分见表 1 中的 0/0 列。

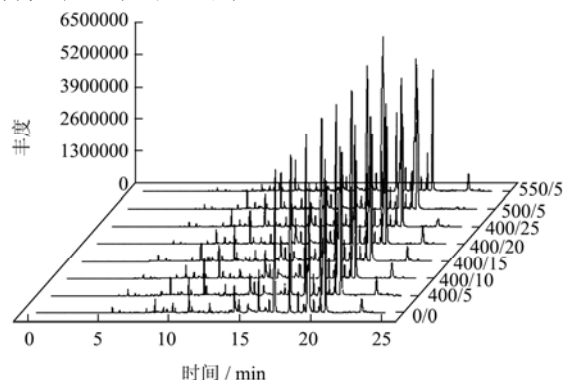


图 1 不同超高压处理黄瓜水香气物质总离子图

Fig.1 Total ion chromatogram of aroma components in cucumber water treated by different pressures

由表 1 可知,从黄瓜水中共检测出 33 种香气成分,主要分为 4 类,其中醛类 12 种、酮类 2 种、醇类 18 种以及烯类 1 种,其中 (E,Z)-2,6-壬二烯醛含量最高,占香气总量的 27.23%。

表 1 不同超高压处理黄瓜水的香气成分及其含量

Table 1 The contents and aromatic compounds identified in cucumber water treated by different pressures

时间 /min	化合物名称	RI	含量/(μg/L)							
			0/0	400/5	400/10	400/15	400/20	450/5	500/5	550/5
8.69	乙醛	1057	6.76±0.13	9.64±0.14	8.64±0.15	7.48±0.15	11.97±0.13	6.93±0.18	11.05±0.18	9.48±0.15
9.08	丙醛	1092	2.62±0.11	5.31±0.15	5.04±0.24	3.85±0.22	5.51±0.13	3.56±0.14	4.63±0.14	4.58±0.25
9.75	3-戊酮	1149	4.63±0.12	7.80±0.22	7.42±0.36	7.02±0.35	7.15±0.25	6.19±0.31	7.40±0.25	7.18±0.46
9.92	1-戊烯-3-酮	1163	1.43±0.04	2.99±0.13	2.59±0.13	2.98±0.18	2.32±0.07	1.87±0.09	2.10±0.06	2.40±0.13
8.69	(Z)-3-壬烯-2-醇	1058	6.14±0.09	9.56±0.18	7.30±0.11	8.54±0.17	7.96±0.14	5.89±0.11	8.56±0.14	8.44±0.14
9.08	己醛	1092	10.88±0.17	12.44±0.24	15.18±0.22	15.03±0.27	6.45±0.15	11.57±0.22	8.35±0.14	15.07±0.22
9.75	(E)-2-戊烯醛	1149	15.48±0.39	18.38±0.53	18.02±0.71	17.12±0.93	18.59±0.54	16.52±0.82	18.95±0.59	18.57±1.14
9.92	1-戊烯-3-醇	1163	5.38±0.14	8.52±0.24	8.60±0.33	8.07±0.46	9.29±0.25	6.65±0.31	8.51±0.27	7.61±0.45
10.87	(E)-2-己烯醛	1242	62.20±1.51	74.03±2.35	64.98±2.72	67.89±3.53	74.03±2.37	67.77±3.31	69.02±2.26	70.31±4.14
11.03	戊醇	1255	1.10±0.04	1.97±0.06	2.44±0.13	2.68±0.16	1.97±0.05	2.31±0.14	1.95±0.07	1.91±0.16
11.10	(Z)-3-癸烯	1261	18.43±0.41	20.19±0.67	18.74±0.71	22.24±1.12	20.19±0.67	20.16±0.95	21.47±0.73	19.14±1.16
11.92	(Z)-2-戊烯-1-醇	1324	3.76±0.13	5.38±0.14	5.49±0.21	5.27±0.27	5.50±0.19	4.41±0.24	6.09±0.22	4.74±0.27
12.28	(E)-2-庚烯醛	1351	4.37±0.07	4.43±0.06	3.88±0.12	4.01±0.11	4.35±0.12	4.34±0.12	4.58±0.07	4.42±0.09
12.35	己醇	1356	15.64±0.39	21.75±0.67	19.56±0.79	19.42±1.12	21.49±0.69	18.58±0.91	21.40±0.64	18.98±1.11
12.52	(Z)-3-己烯-1-醇	1369	2.17±0.07	3.30±0.18	2.73±0.12	2.85±0.11	3.27±0.14	2.64±0.11	3.32±0.11	2.75±0.16
13.13	(E)-2-壬烯-1-醇	1412	23.68±0.38	9.49±0.17	3.29±0.07	3.75±0.05	8.54±0.14	3.54±0.06	7.79±0.13	7.93±0.14
13.73	1-辛烯-3-醇	1449	3.22±0.05	4.01±0.07	3.31±0.05	4.26±0.07	3.28±0.05	3.68±0.07	3.53±0.06	3.18±0.05

转下页

接上页

14.10	(Z)-6-壬烯醛	1472	176.51±2.85	132.08±2.54	116.12±1.77	120.68±2.14	117.64±1.91	130.37±2.40	100.66±1.65	119.10±2.01
14.44	2-乙基-1-己醇	1493	46.63±0.75	45.48±0.87	38.07±0.59	42.02±0.74	45.51±0.73	46.20±0.85	46.04±0.75	40.45±0.68
15.06	(E,E)-2,4-庚二烯醛	1526	43.43±0.63	42.98±0.61	37.25±0.83	39.76±0.75	39.83±0.54	42.71±0.94	56.55±0.84	40.83±0.63
15.85	(E)-2-壬烯醛	1566	284.49±4.61	154.83±2.97	126.13±1.93	135.82±2.41	128.09±2.06	142.44±2.76	102.26±1.51	127.31±2.55
16.31	(Z,Z)-3,6-壬二烯醛	1590	43.97±0.73	37.57±0.79	39.68±0.61	34.95±0.62	34.60±0.51	34.40±0.64	32.17±0.55	30.74±0.42
16.61	(E,E)-2,6-壬二烯醛	1605	60.56±1.11	43.48±0.84	44.18±0.67	44.53±0.72	44.20±0.71	45.00±0.83	41.84±0.68	41.82±0.71
17.02	(E,Z)-2,6-壬二烯醛	1624	1018.23±16.55	819.61±15.71	793.45±12.23	782.77±13.87	820.01±13.19	844.87±15.56	789.88±12.09	838.28±14.17
17.99	壬醇	1669	260.94±4.23	172.01±3.31	158.69±2.43	168.05±2.97	165.56±2.67	180.54±3.32	160.85±2.63	178.82±3.01
18.61	(Z)-3-壬烯-1-醇	1697	60.58±0.91	56.50±0.74	48.67±1.07	53.24±0.91	57.51±0.83	55.64±1.15	59.60±0.96	55.43±0.87
18.98	(E)-6-壬烯-1-醇	1714	46.65±0.75	39.27±0.56	22.18±0.44	22.70±0.49	48.43±0.74	25.48±0.57	47.64±0.71	41.96±0.74
19.25	(E)-2-壬烯-1-醇	1726	227.09±4.11	173.09±3.36	156.66±2.45	163.62±2.91	166.33±2.68	180.47±3.45	166.45±2.78	185.97±3.14
19.38	(Z)-6-壬烯-1-醇	1731	602.91±9.31	591.71±8.24	519.38±11.32	563.16±9.97	639.81±9.44	576.93±12.04	651.14±10.05	575.96±9.77
19.70	(E,E)-3,6-壬二烯-1-醇	1745	36.40±0.57	34.62±0.49	28.85±0.67	32.47±0.58	39.58±0.61	33.77±0.74	40.34±0.67	34.26±0.58
20.06	(E,E)-2,6-壬二烯-1-醇	1761	18.77±0.25	17.56±0.27	14.95±0.31	16.67±0.31	19.94±0.33	17.23±0.33	20.41±0.35	17.52±0.33
20.16	(E,Z)-3,6-壬二烯-1-醇	1766	97.12±1.54	94.43±1.33	79.04±1.75	87.70±1.53	109.56±1.61	92.66±1.93	111.40±1.63	91.92±1.51
20.54	(E,Z)-2,6-壬二烯-1-醇	1782	527.40±8.16	515.35±7.24	443.64±9.67	482.71±8.63	567.34±8.42	481.33±10.32	577.06±8.85	500.73±8.47

判别一种嗅感物质在体系的香气中作用的大小，常用香气值（或嗅感值）来表示，它是嗅感物质的浓度与其阈值之比值：

$$\text{香气值}[\text{FU}] = \frac{\text{嗅感物质浓度}}{\text{阈值}}$$

如果某物质组分的 FU 小于 1，说明该物质没有

引起人们嗅觉器官的嗅感；FU 值越大，说明它是该体系的特征嗅感化合物^[7]。因此本研究把香气值 (FU) ≥ 1 作为确定黄瓜水特征香气成分的判别标准，结果见表 2。

表 2 黄瓜水特征香气成分的阈值、含量、香气值及其嗅觉描述

Table 2 Odour thresholds, concentrations, aroma values and odor description of some aroma compounds in cucumber water

化合物名称	浓度/(μg/L)	阈值/(ng/mL)	香气值	香气描述
(E,Z)-2, 6-壬二烯醛	1018.23	0.01 ^[8]	10.18×10 ⁴	黄瓜味 ^[8]
(Z)-6-壬烯-1-醇	602.91	1 ^[9]	6.03×10 ²	甜瓜香、清香 ^[9]
(E,Z)-2, 6-壬二烯-1-醇	527.40	0.01 ^[9]	5.27×10 ⁴	甜瓜、黄瓜清香 ^[9]
(E)-2-壬烯醛	284.49	0.08 ^[8]	3.56×10 ³	花清香 ^[8]
壬醇	260.99	50 ^[8]	5.22	橙花香气 ^[8]
(Z)-6-壬烯醛	176.51	0.02 ^[10]	8.83×10 ³	清香气 ^[10]
(E,Z)-3, 6-壬二烯-1-醇	97.12	10 ^[11]	9.71	麝香味 ^[11]

由表 2 可知, 黄瓜水的特征香气成分共有 7 种, 依次为 (E, Z)-2,6-壬二烯醛、(Z)-6-壬烯-1-醇、(E, Z)-2,6-壬二烯-1-醇、(E)-2-壬烯醛、壬醇、(Z)-6-壬烯醛、(E, Z)-3,6-壬二烯-1-醇。

刘春香等^[12]研究认为, (E, Z)-2,6-壬二烯醛、(E)-2-壬烯醛、己醛、(E)-2-己烯醛、丙醛、(Z)-6-壬烯醛为黄瓜果实的主要香气成分。郝丽宁等^[13]研究认为除了刘春香等确认的黄瓜特征香气物质外, 壬醛、(Z)-2-庚烯醛、戊醛、(E, Z)-3,6-壬二烯-1-醇、(E, E)-2,4-庚二烯醛、2,4-己二烯醛、2-戊基呋喃、樟醇、1-壬醇和 1-己醇也是黄瓜的特征香气物质。而本研究确认的黄瓜水特征香气成分中的 (E, Z)-2,6-壬二烯醛、(E)-2-壬烯醛、(Z)-6-壬烯醛以及 (E, Z)-3,6-壬二烯-1-醇与以上的研究结论一致, 但是本研究确认的其它三种特征香气成分在刘春香和郝丽宁的研究中都仅被检出, 而不被认为是特征香气成分。原因有二: 一可能是由于黄瓜品种的差异; 二可能是由于本研究对象黄瓜水是通过低温真空蒸馏技术从黄瓜中提取而成, 在提取的过程中由于黄瓜汁中不同香气成分挥发程度的不同导致黄瓜水中香气成分的种类和含量与黄瓜汁中的香气成分存在一定的差异。

2.2 不同超高压处理黄瓜水香气成分的主成分分析

本研究以香气成分作为分析对象, 对 33 种香气成分进行分析, 采用主成分分析法对 0/0、400/5、400/10、400/15、400/20、450/5、500/5 以及 550/5 经过不同处理的黄瓜水为样本进行分析, 得到主成分的特征值和特征向量见表 3。

表 3 2 个主成分的特征值及其贡献率

Table 3 Eigenvalues, contribution and cumulative contribution of two principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	21.67	65.67	65.67
2	9.14	27.71	93.38

由表 3 可以看出, 第 1 主成分的贡献率为 65.67%, 第 2 主成分的贡献率为 27.71%, 2 个主成分的累积贡献率已经达到 93.38%, 根据主成分分析一般提取主成分包含 90% 以上的信息的原理, 可见此二个主成分足以说明该数据的变化趋势。

由表 4 可知, 第 1 主成分的贡献率为 65.67%, 反映的指标主要有丙醛、3-戊酮、1-戊烯-3-酮、(E)-2-戊烯醛、1-戊烯-3-醇、(E)-2-己烯醛、戊醇、(Z)

-3-癸烯、(Z)-2-戊烯-1-醇、己醇和 (Z)-3-己烯-1-醇; 第 2 主成分的贡献率为 27.71%, 反映的指标主要有乙醛、(E)-2-庚烯醛、(E,E)-2, 4-庚二烯醛、(Z)-3-壬烯-1-醇、(E)-6-壬烯-1-醇、(Z)-6-壬烯-1-醇、(E, E)-3,6-壬二烯-1-醇、(E, E)-2,6-壬二烯-1-醇、(E, Z)-3,6-壬二烯-1-醇和 (E, Z)-2,6-壬二烯-1-醇。

表 4 主成分载荷矩阵

Table 4 Principal component loading matrix

指标	主成分	
	1	2
乙醛	0.219	0.915
丙醛	0.995	0.088
3-戊酮	0.996	0.075
1-戊烯-3-酮	0.996	0.078
(Z)-3-壬烯-2-醇	0.635	0.314
己醛	0.253	-0.909
(E)-2-戊烯醛	0.995	0.085
1-戊烯-3-醇	0.996	0.080
(E)-2-己烯醛	0.978	0.153
戊醇	0.985	0.099
(Z)-3-癸烯	0.977	0.156
(Z)-2-戊烯-1-醇	0.995	0.085
(E)-2-庚烯醛	-0.093	0.810
己醇	0.995	0.097
(Z)-3-己烯-1-醇	0.993	0.118
(E)-2-壬烯-1-醇	-0.996	-0.072
1-辛烯-3-醇	0.660	0.179
(Z)-6-壬烯醛	-0.996	-0.072
2-乙基-1-己醇	-0.996	-0.072
(E, E)-2, 4-庚二烯醛	-0.017	0.793
(E)-2-壬烯醛	-0.996	-0.072
(Z, Z)-3, 6-壬二烯醛	-0.992	-0.103
(E, E)-2, 6-壬二烯醛	-0.996	-0.072
(E, Z)-2, 6-壬二烯醛	-0.996	-0.071
壬醇	-0.996	-0.078
(Z)-3-壬烯-1-醇	-0.617	0.774
(E)-6-壬烯-1-醇	-0.541	0.816
(E)-2-壬烯-1-醇	-0.996	-0.078
(Z)-6-壬烯-1-醇	-0.240	0.964
(E, E)-3, 6-壬二烯-1-醇	-0.292	0.950
(E, E)-2, 6-壬二烯-1-醇	-0.292	0.950
(E, Z)-3, 6-壬二烯-1-醇	-0.010	0.994
(E, Z)-2, 6-壬二烯-1-醇	-0.292	0.950

根据表 1 中的 8 种不同超高压处理的黄瓜水中的

33种香气成分的含量、表3中2个主成分的特征值和表4中33种香气成分的载荷值计算出8种不同超高压处理的黄瓜水的第1、第2主成分值，然后以第1主成分值为横坐标、第2主成分值为纵坐标作散点图，如图2所示。

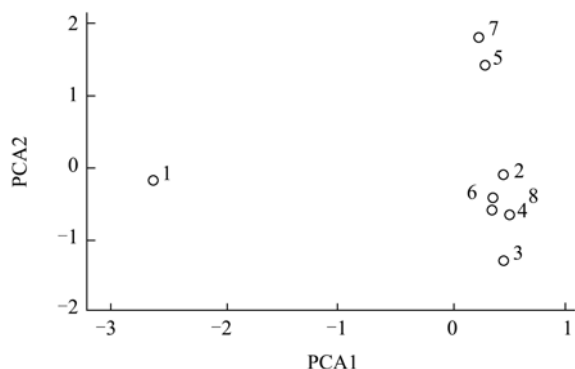


图2 不同超高压处理对第一主成分和第二主成分的散点图
Fig.2 Different ultrahigh pressures to cucumber water on the factorial plane formed by the first and the second significant factors

注：1: 0/0; 2: 400/5; 3: 400/10; 4: 400/15; 5: 400/20; 6: 450/5; 7: 500/5; 8: 550/5

由图2可见，8个不同超高压处理的黄瓜水根据距离远近分为4个区域，0/0处理的黄瓜水为一类，400/20和500/5处理的黄瓜水为一类，400/5、400/15、450/5以及550/5处理的黄瓜水为一类，400/10处理的黄瓜水为一类。超高压处理的样品与未超高压处理的样品都未被分为一类，说明超高压处理对黄瓜水整体香气具有一定的影响。

2.3 超高压处理对黄瓜水香气主成分的影响

分别以时间和压力为自变量，第1主成分和第2主成分的香气总量为因变量进行单因素方差分析，并进行两两比较，结果见表5和表6，图3为不同超高压条件下第1主成分和第2主成分的香气总量变化趋势图。

由图3(A)可以看出，与空白样品相比，黄瓜水经400 MPa的压力处理5~20 min后，第1主成分的量均增加，第2主成分的量先降低后升高。由表5可以看出，超高压处理样品与空白样品的第1主成分有显著性差异(P<0.05)，第2主成分除了400/5与空白样品无显著性差异(P>0.05)外，其它三种高压处理样品都与空白样品有显著性差异；而在400 MPa压力条件下，经不同时间处理，第1主成分相互之间均无显著性差异，第2主成分相互之间均有显著性差异。说明在400 MPa处理5~20 min范围内，超高压处理对第1主成分无显著性影响，对第2主成分的影响显著。由此可以分析得出，在主成分分析中0/0单独分为一类是由于第1主成分、第2主成分共同的差异导致的；400/5与400/15被分为一类可能是由于仅仅是第2主成分的差异没能造成它们两者之间整体香气的差异性，而400/5和400/15与400/10以及400/20分为不同的三类是由于第2主成分的差异性造成的，而这个差异性是由于高压时间的长短对第2主成分的影响造成的。

表5 不同时间对第1主成分和第2主成分的影响

Table 5 Effect of different time on the first and the second significant factors

香气分类	处理条件				
	0/0	400/5	400/10	400/15	400/20
第1主成分	132.82±3.35 ^a	169.61±5.34 ^b	155.61±6.45 ^b	159.39±8.45 ^b	169.30±5.35 ^b
第2主成分	1437.63±22.32 ^a	1396.84±19.68 ^a	1197.84±26.33 ^b	1302.41±23.43 ^c	1526.34±22.77 ^d

表6 不同压力对第1主成分和第2主成分的影响

Table 6 Effect of different pressures on the first and the second significant factors

香气分类	处理条件				
	0/0	400/5	450/5	500/5	550/5
第1主成分	132.82±3.35 ^a	169.61±5.34 ^b	150.65±7.33 ^b	164.83±5.34 ^b	158.17±9.43 ^b
第2主成分	1437.63±22.32 ^a	1396.84±19.68 ^{ab}	1330.10±28.32 ^b	1568.71±24.31 ^c	1363.03±23.14 ^b

由图3(B)可以看出，黄瓜水经400~550 MPa的压力处理5 min后，第1主成分的量均增加，第2主成分的量只有在500/5条件下升高，在其余三个处理条件下都降低了，且在高压范围内的变化趋势为先降低后升高。由表6可以看出，超高压处理样品与空白样品的第1主成分有显著性差异(P<0.05)，第2

主成分除了400/5其它三种高压处理样品都与空白样品有显著性差异；在处理5 min时间条件下，第1主成分相互之间均无显著性差异(P>0.05)，第2主成分400/5、450/5与550/5之间无显著性差异，他们都与500/5有显著性差异。说明在400~550 MPa范围内超高压处理5 min处理对第1主成分无显著性影响。

由此可以分析得出,主成分分析中 400/5、450/5 与 550/5 分为一类,500/5 分为另一类主要是由于压力条件对第 2 主成分的影响造成的,而 0/0 单独分为一类是由于第 1 主成分、第 2 主成分共同的差异导致的。

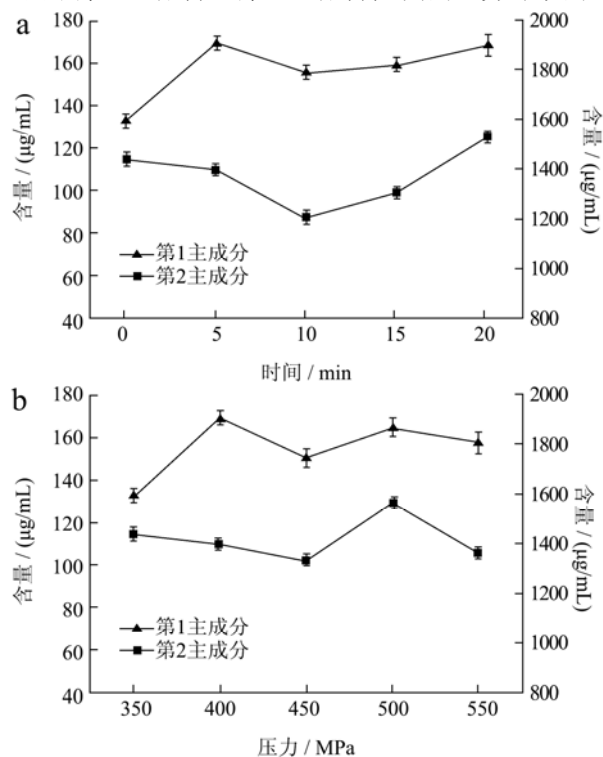


图3 超高压处理对黄瓜水香气成分的影响

Fig.3 Effect of ultrahigh pressure treatment on aroma components in cucumber water

注: a 图为时间对香气成分的影响; b 图为压力对香气成分的影响。

3 结论

3.1 黄瓜水的特征香气成分为(E,Z)-2, 6-壬二烯醛、(Z)-6-壬烯-1-醇、(E,Z)-2, 6-壬二烯-1-醇、(E)-2-壬烯醛、壬醇、(Z)-6-壬烯醛、(E,Z)-3, 6-壬二烯-1-醇, 其中(E,Z)-2, 6-壬二烯醛含量最高, 占香气总量的 27.23%。

3.2 通过主成分分析, 第 1 主成分的贡献率为 65.67%, 第 2 主成分的贡献率为 27.71%, 累积贡献率已经达到 93.38%, 二者可以代表超高压黄瓜水香气的变化趋势。

3.3 0/0 单独分为一类是由于超高压处理对第 1 主成分、第 2 主成分共同的差异导致的, 说明超高压处理对黄瓜水的香气有一定的影响; 400 MPa 压力不同时间处理中, 400/5 和 400/15 与 400/10 以及 400/20 分为不同的三类是由于第 2 主成分的差异性造成的; 不同压力都处理 5 min 的处理中, 400/5、450/5 与 550/5 分为一类, 500/5 分为另一类主要是由于压力条件对第 2

主成分的影响造成的。表明采用主成分分析法作为超高压黄瓜水香气品质的客观评价方法是可行的。

参考文献

- [1] Raso J, Barbosa-Cánovas G V. Nonthermal preservation of foods using combined processing techniques [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2003, 43(3): 265-285
- [2] 周日兴,马永昆.果蔬植物提取生态应用水的生产工艺[P]. 中国:200410030993.3,2006-11-22
Zhou R X, Ma Y K. Production technology for the extraction of water from fruits and vegetables [P]. China: 200410030993.3, 2006-11-22
- [3] 岳田利,彭帮柱,袁亚宏,等.基于主成分分析法的苹果酒香气质量评价模型的构建[J].*农业工程学报*,2007,23(6): 223-227
Yue T L, Peng B Z, Yuan Y H, et al. Modeling of aroma quality evaluation of cider based on principal component analysis [J]. *Transaction of the CSAE*, 2007, 23(6): 223-227
- [4] Ong B T, Nazimah S A H, Tan C P. Analysis of volatile compounds in five jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) cultivars using solid-phase micro-extraction (SPME) and gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry (GC-TOF MS) [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2008, 21: 46-422
- [5] Zou Xiaobo, Zhao Jiewen. Comparative analyses of apple aroma by a tin-oxide gas sensor array device and GC/MS [J]. *Food Chemistry*, 2008, 107(1): 120-128
- [6] MI-Hee Chun, Eun Kyung Kim, Kang Ro Lee, et al. Quality control of *Schizonepeta tenuifolia* Briq by solid-phase microextraction gas chromatography/mass spectrometry and principal component analysis [J]. *Microchemical Journal*, 2010, 95(1):25-31
- [7] 丁耐克.食品风味化学[M].北京:中国轻工业出版社,1996
Ding N K. *Food Flavor Chemistry* [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1996
- [8] J C Leffingwell, D Leffingwell, J N Kapoor, et al. GRAS Flavor Chemicals-Detection Thresholds [J]. *JANUARY/FEBRUARY*, 1991, 16:2-19
- [9] 马永昆,刘晓庚.食品化学[M].南京:东南大学出版社,2007
Ma Y K, Liu X G. *Food Chemistry*[M].Nanjing: Southerst University Press, 2007
- [10] 刘春香,何启伟.黄瓜芳香物质的研究进展[J].*园艺学报*, 2004, 31(2):269-273
Liu C X, He Q D. Advances in the Study on Cucumber Flavor Compounds [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004, 31(2): 26

9-273

- [11] Kourkoutas D, Elmore J S, Mottram D S. Comparison of the volatile compositions and flavor properties of cantaloupe, galia and honeydew muskmelons [J]. Food Chemistry, 2006, 97:95-102
- [12] 刘春香,何启伟,刘扬岷. 黄瓜香气成分的顶空固相微萃取气质联用分析[J]. 园艺学报, 2002, 29(6): 581-583
Liu C X, He Q W, Liu Y M. Head-space Solid Phase Microextraction and GC-MS Analysis of Fragrance of Cucumber [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29(6): 581-583
- [13] 郝丽宁,陈书霞,王聪颖,等. 不同基因型黄瓜果实芳香物质组成及含量差异研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(6): 139-146
HAO L N, CHEN S X, WANG C Y, et al. Aroma components and their contents in cucumbers from different genotypes [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci. Ed.), 2013, 41(6): 139-146

现代食品科技