

超高压处理对哈密瓜汁中酶活性与香气的影响

侯思涵, 裴龙英, 陈计峦*
(石河子大学食品学院, 新疆 石河子 832003)

摘要: 以哈密瓜汁中6种关键酶活性及香气物质为研究对象, 采用超高压技术对哈密瓜汁进行处理, 利用主成分分析法分析哈密瓜汁中脂肪氧合酶、醇脱氢酶、酰基转移酶、氢过氧化物裂解酶、磷脂酶A1、磷脂酶A2活性与香气物质之间的相关性。结果表明, 不同的酶与香气成分之间的相关性不同。进一步提取2个主成分, 主成分1的贡献率为75.56%, 主成分2的贡献率为21.83%, 累计贡献率达97.39%。主成分分析中, 在主成分1上脂肪氧合酶、磷脂酶A1活性与酯、醛、酮、醇4种香气物质具有很强的正相关, 主成分2上醇脱氢酶、过氧化物裂解酶、酰基转移酶、磷脂酶A2活性之间呈正相关。

关键词: 超高压; 哈密瓜汁; 酶; 香气物质; 主成分分析

Effect of Ultra-High Pressure Treatment on Enzymatic Activities and Aroma Compounds in Hami Melon Juice

HOU Sihan, PEI Longying, CHEN Jiluan*
(Food College, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: In this study, we used principal component analysis (PCA) to analyze the correlation between the activities of six key enzymes involved in the pathway of fatty acid metabolism, lipoxidase (LOX), alcohol dehydrogenase (ADH), acyltransferase (AAT), hydroperoxide lyase (HPL), phospholipase A1 (PLA-1) and phospholipase A2 (PLA-2) and aroma compounds in Hami melon juice subjected to ultra-high pressure treatment. The results showed that there existed different correlations between the different enzymes and aroma compounds. The first and second principal components contributed to 75.56% and 21.83% (97.39% together) of the total variance, respectively. LOX and PLA-1 activities were found to be highly correlated with esters, aldehydes, ketones and alcohols based on the first principal component. A strong correlation between ADH, HPL, AAT and PLA-2 activities was found based on the second principal component.

Keywords: ultra-high pressure; Hami melon juice; enzymes; aroma compounds; principal components analysis

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201822031

中图分类号: S652

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2018)22-0202-05

引文格式:

侯思涵, 裴龙英, 陈计峦. 超高压处理对哈密瓜汁中酶活性与香气的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(22): 202-206. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201822031. <http://www.spkx.net.cn>

HOU Sihan, PEI Longying, CHEN Jiluan. Effect of ultra-high pressure treatment on enzymatic activities and aroma compounds in Hami melon juice[J]. Food Science, 2018, 39(22): 202-206. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201822031. <http://www.spkx.net.cn>

哈密瓜作为新疆的特色瓜果, 广受国内外消费者喜爱。这不仅是因为哈密瓜味甘如蜜、口感细柔, 更是因为哈密瓜有着独特的清香气味。哈密瓜特有的香气与滋味搭配在一起, 使哈密瓜有了“瓜中之王”的美誉^[1-2]。

哈密瓜香气的形成是一个动态过程, 大部分香气产生于哈密瓜生长的后期阶段。此阶段哈密瓜的新陈代谢以分解为主, 瓜内各种脂肪酸、氨基酸及碳水

化合物作为香气前体物质, 在一些关键酶的作用下被催化形成不同的挥发性化合物, 各种挥发物共同作用形成了哈密瓜特有的香气^[3-5]。根据前人研究^[6], 哈密瓜中的芳香物质主要有酯类、醇类、酮类及醛类化合物。芳香物质的形成与脂肪氧合酶(lipoxygenase, LOX)、醇脱氢酶(alcohol dehydrogenase, ADH)、酰基转移酶(acyltransferase, AAT)、氢过氧化物

收稿日期: 2018-03-31

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目(31560461)

第一作者简介: 侯思涵(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬与加工。E-mail: housihan1992@163.com

*通信作者简介: 陈计峦(1973—), 女, 教授, 博士, 研究方向为果蔬贮藏与加工、食品化学。E-mail: chenjiluan@163.com

裂解酶 (hydroperoxide lyase, HPL)、磷脂酶A1 (phospholipase A1, PLA-1) 和磷脂酶A2 (PLA-2) 有紧密联系^[7-10]。绝大多数水果中的香气物质主要是由脂肪酸途径形成的, 亚油酸和亚麻酸在LOX的作用下形成氢过氧化物, 再依次经HPL、ADH、AAT的作用生成对应的醛、醇、酯类物质^[10-12]。所以关键酶活性不仅影响水果中各种物质之间的相互转化, 也会直接影响其种类和数量, 进而对香味物质的形成产生影响。

超高压作为一种新型的非热力杀菌技术在果蔬汁加工领域已有广泛应用^[13-15]。在达到杀菌效果的同时还能最大限度的保持果蔬原始的风味与营养^[16-17]。本研究以哈密瓜为原料, 榨汁后采用超高压技术进行处理。利用顶空固相微萃取 (solid-phase microextraction, SPME)、气相色谱-质谱联用 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 技术测定不同超高压条件下哈密瓜汁中香气物质含量及关键酶活性^[18], 并结合主成分分析探究哈密瓜汁中酶活性与香气物质之间的关系^[19]。实验可进一步明确酶活性与不同香气物质间的作用效果, 为揭示超高压作用下香气品质变化与酶活性之间的机制, 探索超高压在果蔬汁领域中的应用提供参考依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

哈密瓜 (*Cucumis melo* var. *saccharinus* L.) 西州蜜25号, 成熟度良好且一致, 于8月中旬在吐鲁番采摘、石河子水果蔬菜批发市场购买。

高锰酸钾、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、氢氧化钠、硼酸、乙醛、亚油酸、聚乙烯吡咯烷酮、丁醇、山梨醇、亚油酸钠、二硫苏糖醇、浓盐酸、交联聚乙烯吡咯烷酮、5,5-二硫代双硝基苯甲酸、MgCl₂、甘油、乙二胺四乙酸等试剂 (均为分析纯) 天津巴斯夫化学试剂公司。

1.2 仪器与设备

H P P . L . 2 - 6 0 0 / 0 . 6 超高压处理设备 (量程0~600 MPa, 误差±10 MPa) 天津市华泰森淼生物工程有限公司; 普通型榨汁机 荷兰Philips公司; DZ-400/2C抽真空包装机 上海青浦食品包装机械厂; Neofuge 15R台式高速离心机 北京阳光思特生物技术有限公司; UV-Mini1240紫外-可见分光光度计 日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 哈密瓜汁的制备

高锰酸钾溶液清洗哈密瓜外皮, 去皮、去籽, 切成小块, 榨汁。8层纱布过滤之后分装于耐高压塑料包装袋内 (20 mL/袋), 抽真空后4℃冷藏备用^[20]。

1.3.2 哈密瓜汁超高压处理

依据课题组前期实验结果与实验设备的压力范围

设定本实验条件 (350、400、450、500 MPa, 10 min, 45℃)^[20,22]。将分装好的哈密瓜汁置于压力容器内即可进行实验, 超高压处理完的样品迅速在流动的自来水中冷却并存放于4℃, 在2 h内测定酶活性。

1.3.3 酶活性测定

1.3.3.1 LOX

2 mL哈密瓜汁与6 mL LOX抽提缓冲液 (pH 6.8 磷酸缓冲液) 于离心管内浸提30 min后12 000×g离心30 min, 上清液即为粗酶液。将2.88 mL硼酸缓冲液 (pH 9.0)、0.10 mL亚油酸溶液和0.02 mL酶液均匀混合后, 在波长234 nm处测定OD值, 记录3 min内OD值的变化^[21-22]。

1.3.3.2 ADH

2 mL哈密瓜汁和6 mL ADH抽提缓冲液 (pH 6.5, 2-吗啉乙磺酸-三羟甲基氨基甲烷 (2-morpholinoethanesulfonic acid-tris (hydroxymethyl) aminomethane, MES-Tris缓冲液)) 于离心管内充分混匀浸提30 min后12 000×g离心30 min, 上清液为ADH粗酶液。测定2.4 mL MES-Tris缓冲液、0.15 mL烟酰胺腺嘌呤二核苷酸 (nicotinamide adenine dinucleotide, NADH)、0.15 mL乙醛和0.3 mL粗酶液于340 nm波长处OD值, 记录1 min内OD值变化^[24]。

1.3.3.3 HPL

将2.00 mL哈密瓜汁和6.00 mL HPL抽提缓冲液 (pH 8.5, 4-羟乙基哌嗪乙磺酸 (*N*-(2-hydroxyethyl) piperazine-*N'*-(2-ethanesulfonic acid), HEPES-OH缓冲液)) 于离心管内充分浸提30 min后15 000×g离心30 min, 上清液为粗酶液。2 mL HEPES-OH缓冲液、0.75 mL反应底物液 (100 mL蒸馏水、2 mL亚油酸钠、4 mL LOX酶液)、0.15 mL NADH、0.1 mL ADH酶液、0.5 mL粗酶液反应15 s后于340 nm波长处测定OD值, 记录1 min内OD值变化情况^[24]。

1.3.3.4 AAT

取2 mL瓜汁和6 mL磷酸缓冲液 (pH 7.0) 于离心管内充分浸提20 min后15 000×g离心30 min即得粗酶液。2.4 mL Tris-HCl缓冲液 (pH 7.0) 和0.6 mL酶液在35℃反应15 min后加入150 μL 5,5-二硫代双硝基苯甲酸, 室温放置10 min在412 nm波长处测定OD值^[24]。4种酶活性以残存酶活性计算:

$$\text{残存酶活性} = \frac{\text{处理后样品酶活性}}{\text{处理前样品酶活性}} \quad (1)$$

1.3.3.5 PLA-1、PLA-2

PLA-1与PLA-2利用酶联免疫吸附剂 (enzyme linked immunosorbent assay, ELISA) 检测试剂盒测定。

1.3.4 SPME方法

取8 mL经超高压处理后的瓜汁加入到20 mL的顶空瓶中。添加2.1 g NaCl, 在40℃加热台上平衡10 min, 萃取针插入顶空瓶, 保持距瓜汁液面1.5 cm, 40℃加热

条件下萃取30 min, 磁力搅拌速率100 r/min。纤维萃取头在GC-MS联机条件下解吸30 min^[6]。

1.3.5 GC-MS方法

纤维头在插孔上保持5 min以去除杂质, 通过流速为40 cm/s的氦气1 min。按5 °C/min升至100 °C, 再按10 °C/min升至250 °C, 保持9 min。HP5973四极杆GC-MS仪采用70 eV电子离子化模式, 离子源温度200 °C, 四极杆温度106 °C, 连续扫描范围 m/z 33~350。数据收集用HP化学工作站软件对照NIST库进行, 成分经过谱库初步鉴定, 再结合标样的保留时间、质谱、实际成分和保留指数等对检测成分进行定性分析。采用相对含量归一化法进行定量分析^[25]。

1.4 数据处理和分析

采用Excel 2010软件统计数据, 以Origin 7.5绘图, 采用SPSS 22.0软件进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 哈密瓜汁香气成分分析

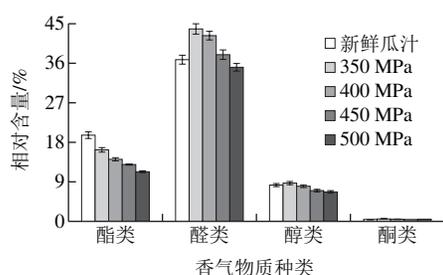


图1 不同超高压条件下哈密瓜汁中香气物质含量的变化

Fig. 1 Changes in contents of aroma compounds in Hami melon juice under different UHP conditions

如图1所示, 未经超高压处理的哈密瓜汁中, 检测出了36种香气成分, 酯类14种: 乙酸甲酯、乙酸乙酯、乙酸丙酯、苯甲酸甲酯、丁酸乙酯、乙酸苯甲酯、苯甲酸乙酯、乙酸丁酯、甲酸戊酯、乙酸己酯、苯甲酸己酯、2-甲基丙酸己酯、丁酸-1-甲基丙酯、丙酸乙酯; 醛类9种: 苯乙醛、反-2-庚烯醛、(反,反)-2,4庚二烯醛、顺-6-壬烯醛、(反,顺)-2,6壬二烯醛、反-2-壬烯醛、正癸醛、2,6,6-三甲基-1-环己稀醛、3,7-二甲基-2,6辛二烯醛; 醇类6种: 2-乙基-1-己醇、顺-2-辛烯-1-醇、4-甲基-1-(1-甲基乙基)-3-环己稀醇、(6顺)-1-壬烯醇、2,6-二甲基环己醇、3,5-二甲基环己醇; 酮类3种: 3-壬酮、2,2,6-三甲基环己酮、十一烷酮; 其他类4种: 二甲基巯基乙酸、6-甲基-5-庚烯、萘、1-甲基萘。经由超高压(350、400、450、500 MPa)处理的哈密瓜汁与未处理瓜汁相比酯类物质减少, 其相对含量分别为16.3%、

14.1%、12.9%、11.3%; 醛类、醇类物质有所增加, 相对含量分别为43.8%、42.3%、37.9%、35.1%和8.68%、7.98%、7.01%、6.68%; 酮类物质无明显变化, 相对含量分别为0.55%、0.51%、0.44%、0.48%。说明超高压处理过后的哈密瓜汁, 在香气组成上会发生改变。

压力在400~500 MPa之间, 醇类物质的含量随着压力的增加呈下降趋势, 且低于新鲜瓜汁。一方面可能是由醇酸的酯化反应引起的, 另一方面可能是因为超高压有利于增加醇-水缔合程度^[26]。酯类物质均随着压力的升高呈现下降趋势, 这可能是超高压作用使压力釜内温度随着压强的升高而增加, 进而影响了醇类物质的生成或转化^[27]。350~450 MPa处理后的醛类物质含量均高于未处理条件, 可能是由于超高压作用破坏了糖苷键, 使酯类物质得到了释放^[28]。

2.2 关键酶活性分析

表1 不同超高压下哈密瓜汁中6种酶活性变化

Table 1 Enzymatic activity in Hami melon juice under different UHP conditions

压力/MPa	残存酶活性					
	LOX	ADH	AAT	HPL	PLA-1	PLA-2
350	0.24	0.006	0.180	0.014	0.011	0.020
400	0.20	0.010	0.193	0.025	0.009	0.037
450	0.15	0.008	0.181	0.012	0.005	0.022
500	0.05	0.006	0.175	0.008	0	0.010

如表1所示, 哈密瓜汁中关键酶活性随着压力的上升大体呈下降趋势。与350 MPa相比, 500 MPa条件下LOX、ADH、AAT、HPL、PLA-1、PLA-2活性分别下降79%、0%、2.8%、43%、100%、50%。这与李沛生等^[29]对荔枝汁中的多酚氧化酶活性研究结果基本一致, 多酚氧化酶活性随着压力的升高而下降。哈密瓜汁中ADH、AAT与PLA-2活性在压力为400、450 MPa时被激活, 酶活性上升。柳青等^[30]的研究表明200 MPa与300 MPa条件下草莓汁中果胶甲酯酶、多酚氧化酶活性出现不同程度的激活。这可能是因为处理压力及温度使酶结构组分达到了一个相对稳定的状态, 从而抵消了压力的作用^[31], 也有可能是各种同工酶对压力耐受性引起的^[32]。与此同时哈密瓜汁中醛、酯、醇类物质含量的改变也会对瓜汁中AAT活性产生影响^[33-34]。结合图1可看出, 随着压力增大, 酶活性整体下降的同时香气物质也随之减少, 酯、醛、酮、醇相对含量在500 MPa比350 MPa分别减少4%、10.7%、3%、0.27%。这种现象说明在超高压条件下香气物质与关键酶活性的变化有关, 酶活性与香气物质的生成具有一定的相关性。

2.3 6种酶活性与香气物质的主成分分析

为进一步探究酶活性与香气物质之间的关系, 以6种酶活性及酮、醛、酯、醇类物质相对含量为原始变

量, 利用SPSS软件进行主成分分析后得出10个独立的主成分及其特征值, 如表2所示。主成分的特征值越大, 代表此主成分所反映的原始变量信息越多。根据此标准提取F1和F2主成分, 这两个主成分累计贡献率达97.39%, 且两个主成分的特征值均大于1。可见这两个主成分几乎可以反映全部原始数据的变化趋势, 因此可以利用主成分F1和F2代表所有原始信息进行分析。

表2 主成分及其特征值
Table 2 Principal components and their eigenvalues

成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
F1	7.556	75.558	75.558
F2	2.183	21.830	97.389
F3	0.158	1.583	98.972
F4	0.054	0.540	99.512
F5	0.026	0.258	99.770
F6	0.013	0.132	99.903
F7	0.005	0.052	99.955
F8	0.002	0.025	99.980
F9	0.002	0.018	99.997
F10	0	0.003	100

表3 酶与香气物质的主成分载荷矩阵
Table 3 Principal component loading matrix

指标	主成分	
	F1	F2
醛类	0.958	0.250
酯类	0.971	0.115
酮类	0.962	0.269
醇类	0.910	0.364
LOX	0.929	0.335
ADH	0.071	0.973
HPL	0.271	0.957
AAT	0.375	0.898
PLA-1	0.958	0.268
PLA-2	0.391	0.916

由表2和表3可知, 第1主成分的贡献率为75.56%, 反映的指标主要有醛、酮、醇、酯及LOX与PLA-1活性。第2主成分贡献率为21.83%, 主要体现了ADH、HPL、AAT与PLA-2活性的作用。根据2个主成分的特征值与载荷值计算出第1、2主成分值, 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。

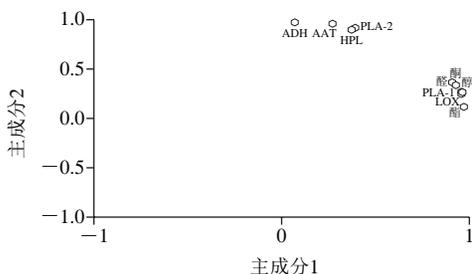


图2 超高压处理在主成分1和主成分2上的散点图

Fig. 2 Scatter plot of PC1 versus PC2 for key enzyme activities and aroma compounds in ultrahigh pressure treated Hami melon juice

由图2可知, 10种指标均分布在第1象限。LOX、PLA-1与4种香气物质聚在一起且对主成分1的正端贡献较大, ADH、AAT、HPL、PLA-2与香气物质距离较远。这说明LOX、PLA-1与香气物质有很强的正相关性, 其他4种酶与香气物质的产生之间正相关较弱, 但这并不代表它们与香气物质的合成无关或者单纯起促进或者抑制作用。这可能是由于酶与香气物质、酶与酶、香气物质之间互相影响、过程复杂。同理, 主成分1与主成分2是两个互不干扰、互不影响的成分。在主成分2中10个指标根据距离远近分为两个区域, 分类结果与主成分1一致。进一步证明了酶与香气物质之间的“相似性”和“差异性”, 它们是相互作用、相互影响的。主成分分析结果与脂肪酸代谢过程基本吻合, LOX作用于香气前体物质后形成了酯、醛等物质, ADH、HPL等酶依次作用最终生成香气物质。

表4 主成分得分
Table 4 Scores of the first two principal components

压力/MPa	得分	
	F1	F2
350	1.368 92	-0.613 44
	1.471 99	-0.941 32
	1.427 50	-0.847 27
400	0.147 48	1.643 08
	0.148 64	1.538 35
450	0.118 79	1.473 23
	-0.321 09	0.085 72
	-0.320 49	-0.151 85
500	-0.359 74	0.096 74
	-1.303 39	-0.778 67
	-1.207 22	-0.701 61
	-1.171 40	-0.802 98

由于主成分1的累计贡献率达75%以上, 分别对4种超高压条件进行主成分得分分析, 并做3次平行实验, 根据表4可以看出, 350 MPa组在主成分1中得分最高, 位列第1位。但在主成分2中得分偏低。说明这种处理在香气物质和LOX、PLA-1上的优势较大, 而在其余4种酶上的优势偏小。400 MPa组在主成分2中得分最高, 说明此时ADH、HPL、AAT、PLA-2的优势大, 酶活性高。450、500 MPa组在主成分1、2上的得分均靠后, 说明处理过程中对香气物质及关键酶活性都产生相对了不良的影响, 香气物质损失多、酶活性降低明显, 这与前文对香气物质及酶活性的分析一致。

3 结论

本研究采用SPME-GC-MS测定不同超高压条件下哈密瓜汁中香气物质含量的变化。结果表明超高压会对哈

密瓜汁中香气物质含量产生影响,与未处理的哈密瓜汁相比,酯类物质有所减少,醛类物质增加,醇、酮类物质含量变化不大。6种酶活性随着压力的升高大体呈现下降趋势,其中ADH、AAT与PLA-2在一定条件下被激活。通过主成分分析,主成分1的贡献率为75.56%,主成分2的贡献率为21.83%,累计贡献率为97.39%,2个主成分可以代表超高压处理下哈密瓜汁中香气物质含量与酶活性的变化趋势。所有原始信息在主成分中大体聚为两类,LOX、PLA-1与香气物质紧密结合,ADH、AAT、HPL与PLA-2聚为一类。同时,由于ADH可与醇类物质相互转化,因而ADH和香气物质之间的相关性最弱。表明超高压处理对哈密瓜汁香气物质含量及酶活性有一定影响,且不同的香气物质和酶所受到的影响也不一样。

参考文献:

- [1] 刘福林,王洪新,肖建.哈密瓜饮料的研制[J].食品工业科技,2008,29(8):191-193. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2008.08.046.
- [2] 相炎红,王焱,杨明俊.哈密瓜乳饮料的工艺研究[J].中国乳品工业,2011,39(1):56-58.
- [3] YURIKO I, KIKUE K. Sensory evaluation of the synergism among odorants present in concentrations below their odor threshold in a Chinese jasmine green tea infusion[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2005, 49(1): 1-68. DOI:10.1002/mnfr.200400021.
- [4] GONDA I, BAR E, PORTNOY V, et al. Branched-chain and aromatic amino acid catabolism into aroma volatiles in *Cucumis melo* L. fruit[J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61(4): 1111-1123. DOI:10.1093/jxp/erp390.
- [5] HATANKA A. The biogeneration of green odour by green leaves[J]. Phytochemistry, 1993, 34(5): 1201-1218. DOI:10.1016/0031-9422(91)80003-J.
- [6] 马永昆.热力、非热力处理对哈密瓜汁香气、酶和微生物的影响[D].北京:中国农业大学,2005.
- [7] JUDITH S. The plant ADH gene family[J]. The Plant Journal, 2011, 66: 128-142. DOI:10.1111/j.1365-3113X.2010.04458.x.
- [8] PRESTAGE S, LINFOTH R S, TAYLOR A J, et al. Volatile production in tomato fruit with modified alcohol dehydrogenase activity[J]. Journal of Science and Food Agriculture, 1999, 79: 131-136. DOI:10.1002/(SICI)1097-0010(199901)79.
- [9] YAHYAOU F, WONGS A, LATCHE A, et al. Molecular and biochemical characteristics of a gene encoding an alcohol acyltransferase involved in the generation of aroma volatile esters during melon ripening[J]. European Journal of Biochemistry, 2002, 269(9): 2359-2366. DOI:10.1046/j.1432-1033.2002.02892.x.
- [10] BEEKWILDER J, ALAVAREZ-HUERTA M, NEEF E, et al. Functional characterization of enzymes forming volatile esters from strawberry and banana[J]. Plant Physiology, 2008, 135(4): 1865-1878. DOI:10.1104/pp.104.042580.
- [11] LIU H, SONG L, YOU Y, et al. Cold storage duration affects litchi fruit quality, membrane permeability enzyme activities and energy charge during shelf time at ambient temperature[J]. Postharvest Biology Technology, 2011, 60: 24-30. DOI:10.1016/j.postharvbio.2010.11.008.
- [12] ANADREOU A, FEUSSNER I. Lipoygenases: structure and reaction mechanism[J]. Phytochemistry, 2009, 70(13/14): 1504-1510. DOI:10.1016/j.phytochem.2009.05.008.
- [13] FARKAS D, HOOVER D. High pressure processing[J]. Journal of Food Science, 2000, 65: 47-64. DOI:10.1111/j.1750-3841.2000.tb00618.x.
- [14] MEYER R, COOPER K L, KNORR D, et al. High-pressure sterilization of foods[J]. Food Technology, 2000, 54(11): 67-72. DOI:10.1007/978-1-4419-7475-4_15.
- [15] 杜宝磊.超高压杀菌桑葚汁工艺优化及贮藏稳定性研究[D].哈尔滨:哈尔滨商业大学,2016.
- [16] 陆怡,颜惠庚,沈士明.超高压生物处理技术及装备研究进展[J].食品与机械,2007(5):109-111. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2007.05.014.
- [17] 谭俊峰,林智,郭丽,等.超高压对茶鲜叶的细胞结构、多酚氧化酶活性及主要化学成分的影响[J].食品科学,2007,28(9):78-82. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2007.09.013.
- [18] 马辉,王亚超,马永昆,等.基于主成分分析法分析超高压处理对黄瓜水香气的影响[J].现代食品科技,2014,30(3):220-226;232. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.03.007.
- [19] 吴梦,李希,马永昆,等.主成分分析超高压对桑椹饮料香气成分的影响[J].食品研究与开发,2017,38(19):116-123. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2017.19.025.
- [20] 宋丽军,张丽,周文,等.超高压协同pH值对哈密瓜汁中脂氧合酶钝化效果的研究[J].农产品加工(学刊),2010(2):12-16. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2010.02.004.
- [21] 肖建,张静,陈计峦.高密度二氧化碳技术对哈密瓜汁中脂氧合酶钝化效果的研究[J].农产品加工,2009(5):76-78;80.
- [22] 尹琳琳.超高压技术对哈密瓜汁风味及品质影响的研究[D].石河子:石河子大学,2010.
- [23] 齐红岩,关小川,李岩,等.嫁接对薄皮甜瓜果皮和果肉中主要酯类、游离氨基酸及酯类合成相关酶活性的影响[J].中国农业科学,2010,43(9):1895-1903. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2010.09.016.
- [24] 张晓萌.桃果实成熟过程中香气成分形成及其生理机制研究[D].杭州:浙江大学,2005.
- [25] 张静.超临界CO₂技术对哈密瓜汁风味及品质影响的研究[D].石河子:石河子大学,2009.
- [26] 王亚超,马永昆,于怀龙,等.超高压处理对黄酒中醇水缔合影响的研究[J].现代食品科技,2016,32(2):221-226. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.2.033.
- [27] FURUTA T, MATSUO J, KURATA T, et al. Cleavage of esters under nearly neutral conditions at high pressure[J]. High Pressure Research, 1993, 11(1): 93-106. DOI:10.1080/08957959208201695.
- [28] 顾睿.超高压加工苹果黄酒工艺及其风味的研究[D].镇江:江苏大学,2009.
- [29] 李沛生,朱悦夫,张微,等.低温和中温协同超高压对鲜榨荔枝汁灭酶处理和色泽影响的研究[J].现代食品科技,2017,33(7):151-156. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.022.
- [30] 柳青,王丹,马越,等.超高压处理对草莓汁品质酶和杀菌效果的影响[J].食品工业科技,2014,35(18):144-148. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.18.022.
- [31] HENDRICKX M, LUDI KHUYZE L, VAN DEN BROECK I, et al. Effects of high pressure on enzymes related to food quality[J]. Trends in Food Science and Technology, 1998, 9(5): 197-203. DOI:10.1007/978-1-4615-0723-9_5.
- [32] 吴奕兵.超高压均质对胡萝卜汁理化性质及酶和微生物的影响[D].南京:南京农业大学,2009.
- [33] 李岩.乙烯在薄皮甜瓜果实香气物质合成中的作用与调控[D].沈阳:沈阳农业大学,2012.
- [34] 隋静,姜远茂,彭福田,等.草莓果实发育过程中芳香物质含量和醇酰基转移酶活性的变化[J].园艺学报,2007(6):1411-1417. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2007.06.011.