

巴氏、超高温和微波处理对蓝莓原汁品质的影响

谢国芳, 王瑞, 周笑犁, 马立志

(贵阳学院 食品与制药工程学院/贵州省果品加工工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550005)

摘要: 为探索巴氏、超高温和微波灭菌 3 种灭菌方式对蓝莓原汁品质的影响,采用顶空固相微萃取(HS-SPME/GC-MS)结合 GC-MS 对蓝莓汁的香气成分进行鉴定,同时测定分析对 3 种灭菌样的菌落总数、营养成分及 DPPH 自由基清除率。实验表明:共鉴定出蓝莓汁挥发性香气成分 47 种,主要是醇类、酯类、烯烃类、酮类、醛类,不同处理样的相对含量存在较大差异,占总香气成分的 45.66%~84.53%左右,微波灭菌香气成分达 25 种,比对照样多 8 种。微波灭菌对蓝莓汁的灭菌效果最彻底,可溶性固形物、总酸含量变化最小,花色苷含量、多酚保留率最高,贮藏 90 d 后 DPPH 自由基清除率高达 89.22%。微波灭菌不仅能有效杀灭蓝莓汁中的耐酸微生物,保持营养成分、DPPH 自由基清除力和色泽,而且还能产生令人愉快的香气成分,是一种很有发展潜力果的果汁饮料灭菌方式。

关键词: 蓝莓原汁;灭菌方式;香气成分;营养成分

中图分类号: TS 229 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2015)10—1095—06

Effect of Pasteurization, UHT and Microwave Treatment on Quality of Blueberry Juice

XIE Guofang, WANG Rui, ZHOU Xiaoli, MA Lizhi

(Food and Pharmaceutical Engineering Institute, Guiyang University / Guizhou Engineering Research Center for Fruit Processing, Guiyang 550005, China)

Abstract: In order to explore the effect of pasteurization, UHT and microwave treatment on quality of blueberry Juice, the aroma of Blueberry Juice were identified by using head space solid phase micro-extraction (HS-SPME/GC-MS) combined with GC-MS, and the parameters, including microflora, nutrients and DPPH free radical scavenging ability, were analysis. The results indicated the 47 volatile aroma components of blueberry Juice, mainly alcohols, esters, olefin, ketones and aldehydes, were identified, the relative content of different thermal treatment blueberry juice has significantly different, it accounted for about 45.66%~84.53% of aroma components. The aroma components of microwave treatment sample up to 25 species. Microwave sterilization can effectively kill microorganisms of blueberry juice, the changes of total soluble solids and total acid content are

收稿日期: 2014-08-10

基金项目: 贵州省科技创新人才团队建设项目(黔科合人才团队(2013)4028);贵州省教育厅“125”重大科技专项(黔教合重大专项[2012]014号);贵州省教育厅产学研基地项目(黔教合 KY 字[2012]033号);贵州省果品加工、贮藏与安全控制协同创新中心(黔教合协同中心字[201306]号);贵州省教育厅自然科学研究重点项目(黔教合 KY 字[2014]276)。

作者简介: 谢国芳(1987—),男,贵州思南人,工学硕士,讲师,主要从事农产品加工与贮藏研究。Email: xieguofang616@sina.com

low, and contents of anthocyanins and polyphenols highly retained rate, DPPH free radical scavenging capacity of microwave treatment were up to 89.22% after storage 90d. Microwave sterilization not only kill the acid-resistant micro-organisms, maintain the nutrition, DPPH free radical scavenging capacity and color, but it also have a pleasant aroma, is a very promising sterilization methods.

Keywords: blueberry juice, sterilization methods, aroma components, nutrition

蓝莓 (Blueberry) 属于杜鹃花科越桔属植物, 果呈蓝色, 并披一层白色果粉, 果肉细腻, 果味酸甜, 风味独特^[1]。蓝莓除了和普通水果一样含有糖、酸以及维生素 C 外, 还含有丰富的营养成分, 如维生素 A、B、E 和超氧化物歧化酶 (SOD)、蛋白质、花青素 (花青素或酚配基, 与糖的结合体)、熊果酸、绿原酸、黄酮素、亚麻油酸、蝶二苯乙烯 (紫檀芪)、食用纤维、白藜芦醇等生物活性成分^[2]及钾、钙、铁、锌、铜、铬等矿物质^[3], 蓝莓汁因其丰富的营养和风味而备受欢迎, 也为微生物滋生提供良好环境, 加工极易引起果汁营养分解、降低其营养价值, 大大缩短了产品的贮藏期、降低其安全性。如何在到达商业灭菌的同时又尽可能保留果汁的风味成分、营养和活性成分成为食品加工领域的热点。

Kader、Rossi 及 Lee 等研究发现过氧化物酶、多酚氧化酶参与花色苷降解、促进褐变, 热处理不仅可以提高果汁的抗氧化活力, 还可以降低果汁中酶活从而减少贮藏过程中营养成分的损失^[4-6]。因此适当的热处理对蓝莓色泽、营养成分及理化性质具有较好的保持作用。目前, 虽然有超高压、热处理、脉冲电场、微波灭菌技术用于蓝莓汁灭菌的报道, 但基本都基于科研条件下研究不同灭菌方式对微生物、理化性质的影响^[7-11], 尚无抗氧化活力、香气成分等方面的报道。

作者探讨了实际生产中常用的巴氏灭菌、超高温瞬时灭菌、微波灭菌对蓝莓汁的挥发性香气成分、灭菌效果、营养成分和 DPPH 自由基清除力的影响, 得到能有效减少蓝莓汁中有效营养成分、抗氧化活力损失、风味变化、二次沉淀的灭菌方法, 为企业生产中灭菌技术的选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与仪器设备

原料: 麻江“圆蓝”蓝莓; 试剂: 所用分析化学试

剂均为分析纯。

仪器、设备: UV-7502PC 紫外可见分光光度计: 上海欣茂仪器有限公司产品; PHS-25 数显酸度计: 上海虹益仪器仪表有限公司产品; 糖度计: 日本 Atogo 公司产品; ST-20 超高杀菌机: 上海顺仪设备有限公司产品; 胶体磨: 上海东华均质机厂产品; WBS-P20 连续式瓶装食品微波灭菌机: 贵阳新奇微波工业有限责任公司产品; 手动固相微萃取装置: 美国 Supelco 产品, 50/30 μm 二乙烯苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷 (DVB/CAR/PDMS), 萃取头在气相色谱仪进样口以 250 $^{\circ}\text{C}$ 老化 30 min, 室温平衡 1 h 后使用; QP2010-GC-MS 气质联用色谱仪: 日本 Shimadzu 公司产品。

1.2 试验方法

1.2.1 蓝莓汁制备工艺流程 原料选择 (蓝莓冻果) $\rightarrow$ 解冻 $\rightarrow$ 清洗 $\rightarrow$ 榨汁 $\rightarrow$ 过胶体磨 $\rightarrow$ 过 120 目筛 $\rightarrow$ 脱气 $\rightarrow$ 杀菌 $\rightarrow$ 微生物指标、理化指标测定及感官评定。蓝莓汁的 pH 值为 2.82~2.85 左右。

1.2.2 灭菌方法 将制备好的蓝莓汁平均分为 4 份 (每处理 3 L), 微波灭菌 (MS, 22 W、30 s); 每瓶装蓝莓汁 245 mL, 用水样进行试机, 待样品出口温度稳定在 80 $^{\circ}\text{C}$ 时, 再进蓝莓汁灭菌; 超高温瞬时灭菌 (UHT, 121 $^{\circ}\text{C}$ 、5 s); 巴氏灭菌 (PS, 90 $^{\circ}\text{C}$ 、30 s) 处理; 不处理蓝莓汁为空白对照 (CK)。

1.2.3 理化指标及香气成分测定 参考国家标准 GB4789.2-2010 食品安全国家标准 菌落总数的测定方法, 总酸均采用 GB/T 12456-2008 测定, 可溶性固形物 (TSS) 采用手持式折光仪测定, 多酚、花色苷参照 Buckow 等 (2010) 方法进行测定^[10]; DPPH 参照刘佳等 (2012) 方法进行测定^[11]; 色泽采用 CR-10 色差仪测定, 参照高学龄等 (2013) 的方法计算色泽变化值 (ΔE)^[12]。

1.2.4 蓝莓汁香气成分检测 蓝莓汁的香气成分使用顶空-固相微萃取法 (HS-SPME) 进行萃取, 将

装有 5 mL 蓝莓汁的顶空瓶置于磁力搅拌加热台上于 30 ℃下用活化后的萃取头顶空取样 30 min。萃取完成后,取出纤维头并插入 GC-MS 进样口,解析 1 min 后,24 h 内完成 3 种处理样的香气成分分析。4 个处理蓝莓汁的香气成分分析在 12 h 内完成。

色谱条件:毛细管柱,Restek Rtx-wax 聚乙二醇(PEG)(30 m×0.25 mm×0.25 m);升温程序:40 ℃保持 3 min,先以 3 ℃/min 速率升至 200 ℃,保持 1 min,再以 10 ℃/min 速率升到 230 ℃,保持 2 min;载气:He;流量:1.0 mL/min;不分流进样,进样口温度,250 ℃。质谱条件:电子轰击(EI)离子源;检测器电压:70 eV;离子源温度 250 ℃;接口温度 200 ℃;扫描范围 m/z :35~550。

取正构烷烃混合标准品按上述 GC/MS 条件进行分析,得到各标准品保留指数(RI),然后按文献报道方法^[13]计算各香气成分 RI 值,经过 NIST08 和

NIST08s 标准谱库检索(仅报道匹配度>85%的化合物),结合保留指数和相关文献对各挥发分进行分析鉴定,按面积归一化法计算各组分相对含量。

1.2.5 数据处理 除香气成分分析外,实验采用 3 个平行的随机组合设计,试验结果采用 Microsoft Excel 软件进行数据整理,经 SPSS 16.0 统计软件进行 Duncan 新复极差法及 Tukey's 组间差异显著性统计分析, $p<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同灭菌处理对蓝莓汁挥发性香气成分的影响

采用 HS-SPME 结合 GC-MS 检测分析,GC-MS 总离子流色谱图见图 1;经仪器所配置的 NIST08 和 NIST08s 标准谱库检索,并结合人工图谱解析和资料分析鉴定,按面积归一化法计算各组分相对质量分数,结果见表 1。

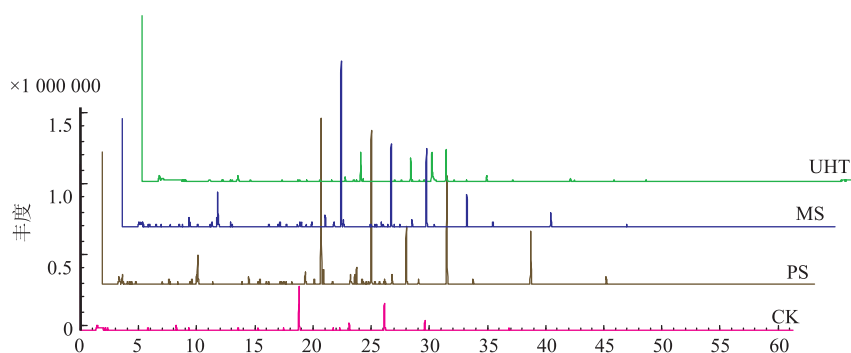


图 1 不同热处理蓝莓汁的香气 GC-MS 总离子流色谱图

Fig. 1 Total ionic chromatogram of aroma compounds of different thermal treatment blueberry juice

表 1 不同热处理蓝莓汁的香气成分及其相对质量分数

Table 1 Aroma compounds and their relative concentrations of different thermal treatment blueberry juice

序号	保留时间/ min	化合物中/英文名称	CAS 号	相对质量分数/%			
				CK	PS	UHT	MS
1	1.442	正丁基脲/l-Alanine ethylamide	592-31-4	7.3	1.19	0.86	1.18
2	1.626	乙醇/Ethanol	64-17-5	1.73	0.44	0.85	0.44
3	1.719	丙酮/Acetone	67-64-1	1.46	1.08	0.52	1.07
4	1.883	硫酸丙酯/Dipropyl sulfone	598-03-8	--	--	1.71	--
5	2.165	次乙亚胺/Ethylenimine	151-56-4	0.28	--	--	--
6	2.34	丙酮醛/Methylglyoxal	78-98-8	--	--	0.16	--
7	2.358	亚硝酸异丁酯/Nitrous acid	542-56-3	0.38	--	--	--
8	5.155	戊烯/Propylethylene	109-67-1	--	--	--	0.17
9	5.167	1-己烯-3-醇/Propylvinylcarbinol	4798-44-1	--	0.17	--	--
10	5.724	己醛/Hexanal	66-25-1	--	0.66	--	--

续表 1

序号	保留时间/ min	化合物中/英文名称	CAS 号	相对质量分数/%			
				CK	PS	UHT	MS
11	5.782	N-二甲基亚硝酸胺/Methanamine	62-75-9	--	--	--	0.65
12	5.805	丙烯酸异丁酯/Propanoic acid	106-63-8	1.23	--	--	--
13	5.826	丁酸乙烯酯/ethenyl ester	123-20-6	--	--	0.34	--
14	6.882	糠醛/2-Furancarboxaldehyde	1998-1-1	--	--	0.45	--
15	7.516	丁酸乙酯/ Ethyl butyrate	105-54-4	--	--	--	0.21
16	7.553	青叶醛/ Leaf aldehyde	6728-26-3	--	0.21	--	4.43
17	7.696	(E)-3-己烯-1-醇/3-Hexen-1-ol	928-97-2	--	2.06	--	--
18	8.173	N,N-二甲基甘氨酸/ acetic acid	1118-68-9	0.32	--	--	--
19	12.014	正己醇/Hexyl alcohol	111-27-3	4.88	4.46	4.17	0.14
20	12.596	2-硝基丙烷/ 2-Nitropropane	79-46-9	0.29	--	--	0.99
21	13.566	丙烯酸丁酯/ Butyl acrylate	141-32-2	1.05	--	0.72	0.84
22	13.71	异丙基磺酰氯/ propane-2-sulfonyl chloride	10147-37-2	--	--	0.21	--
23	14.318	苦杏仁油/ Bitteralmondessence	8013-76-1	--	0.14	--	0.21
25	15.278	二碳酸二叔丁酯/ Di-tert-butyl dicarbonate	24424-99-5	--	--	--	0.46
26	15.423	月桂烯/Myrcene	123-35-3	--	0.84	--	0.46
27	18.231	异辛醇/2-Ethyl-1-hexanol	26952-21-6	--	0.47	0.3	1.15
28	18.454	环氧丙烷/Oxirane	75-56-9	0.47	0.12	0.17	--
29	18.804	2-氨基苯甲酸-3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇酯/linalyl ester	7149-26-0	39.5	0.24	15.86	--
30	18.826	侧柏烯/ 3-Thujene	353313	--	--	--	28.08
31	19.014	亚硝酸异丁酯/Isobutylnitrite	542-56-3	0.38	--	--	--
32	21.345	草酸二丁酯/Oxalic acid	2050-60-4	--	--	0.31	1.65
33	21.433	异辛醇/ 2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	2.19	0.11	1.88	0.28
34	21.88	烯丙醇/Allyl alcohol	107-18-6	--	--	--	2.68
35	22.326	芳樟醇/Linalol	78-70-6	--	30.97	--	0.83
37	22.469	癸醛/Capraldehyde	112-31-2	--	0.34	1.63	0.33
38	23.119	α-松油醇/α-Terpineol	98-55-5	5.62	27.92	13.15	--
39	23.454	1-壬醇/Nonyl alcohol	143-08-8	--	--	--	0.49
41	24.931	5-羟甲基糠醛/5-Hydroxymethylfurfural	67-47-0	--	--	27.83	--
42	26.142	月桂烯/Myrcene	123-35-3	26.11	10.09	19.78	--
43	26.15	烯丙基庚酯/Oxalic acid	14861-06-4	--	--	--	10.02
44	27.923	乙基甲基醚/Methoxyethylene	760-93-0	0.14	--	--	--
45	29.648	2-甲基丙烯酸酐/Methacrylic anhydride	67-47-0	--	--	--	18.95
46	31.88	β-蒎烯/Nopinen	127-91-3	--	1.79	--	0.66
47	36.861	紫罗兰酮/ Ionone	8013-90-9	--	--	--	9.18

“--”表示未检出。

从图 1 与表 2 可以看出,热处理蓝莓汁的香气组成变化明显,蓝莓汁挥发性香气成分主要由醛类、醇类、酯类组成,还含有酮类、烯烷类、羧酸类、杂环类及芳香族类化合物,与报道的文献基本一致。从量上看,热处理的蓝莓汁中香气成分比对照样均有不同程度增加,主要是酯类和醇类化合物。

对照样香气成分有 17 种,相对质量分数为

93.33%,其中醇类 14.42%,酯类 42.54%,烯烃类 26.11%;巴氏灭菌样有 19 种,相对质量分数 82.83%,其中醇类 66.32%,烯烃类 12.72%;超高温灭菌样有 19 种,相对质量分数为 90.9%,其中醇类 20.35%,烯烃类 19.78%,酯类和醛类分别占 2.77%和 2.24%;微波灭菌有 25 种,相对质量分数 85.55%,其中醇类 6.01%,酯类 11.74%,烯烃类

29.37%,酮类 10.25%,醛类 4.76%。从各主要成分的相对百分含量来看,对照样中正丁基脲、2-氨基苯甲酸-3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇酯、月桂烯、正己醇和 α -松油醇的相对百分含量占香气成分总量的 83.4%左右,乙醇、丙酮、丙烯酸异丁酯及丙烯酸丁酯、异辛醇约占总香气成分的 7.63%,而其余的次乙亚胺、2-硝基丙烷、环氧丙烷、亚硝酸异丁酯、乙烯基甲醚仅占 2.3%左右;巴氏灭菌样中正己醇、芳樟醇、月桂烯和 α -松油醇总占香气成分的 73.44%,正丁基脲、丙酮、(E)-3-己烯-1-醇、月桂烯和 β -蒎烯占总香气成分的 6.96%,而其他 8 种成分仅占 2.43%;超高温处理样中硫酸丙酯、正己醇、2-氨基苯甲酸-3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇酯、 α -松油醇、5-羟甲基糠醛、月桂烯相对含量达 80.79%,正丁基脲、乙醇、硫酸丙酯、丙烯酸丁酯、异辛醇、癸醛占 7.65%,而其他 7 种仅占 2.46%左右;微波灭菌样中青叶醛、侧柏烯、烯丙醇、烯丙基庚酯、2-甲基丙烯酸酐、紫罗兰酮占 73.34%,正丁基脲、丙酮、2-硝基丙烷、丙烯酸丁酯、异辛醇、草酸二丁酯、芳樟醇占 7.71%左右,而其他 12 种香气成分相对质量分数较低,仅占 4.5%。

对照样和 3 种热处理样中香气成分及其相对含量差异极大,4 个处理样中相同的香气成分仅有正丁基脲、乙醇、丙酮、正己醇,热处理样中相对含量明显减少,对照样、巴氏和超高温灭菌样中相同的香气成分有正丁基脲、乙醇、丙酮、正己醇、 α -松油醇、月桂烯等主要成分,而微波处理样中未检出 α -松油醇、月桂烯,比其他 3 个样增加了戊烯、N-二甲基亚硝胺、丁酸乙酯、二碳酸二叔丁酯、侧柏烯、烯丙醇、1-壬醇、烯丙基庚酯、2-甲基丙烯酸酐、紫罗兰酮等 10 种香气成分,说明微波处理使其分解成其他香气成分,这主要是微波灭菌机理与巴氏和超高温完全不同引起的,这与前期研究结果一致^[6]。

2.2 不同热处理对蓝莓汁品质的影响

不同热处理对蓝莓汁的菌落总数、可溶性固形物含量、总酸、花色苷、多酚和 DPPH 自由基清除率及其变化影响差异显著($p < 0.05$) (见表 2)。对照样贮藏 90 d 后,蓝莓汁菌落总数不计其数,明显产气,有酒香味,巴氏灭菌和微波灭菌处理样的菌落总数均能满足果蔬汁饮料的微生物安全标准(菌落总数 ≤ 100 CFU/mL) (GB19297-2003);巴氏灭菌样的可溶性固形物含量最高,主要是由于巴氏灭菌引起

蓝莓汁中的颗粒物及纤维素分解和降解导致,其他 3 个处理样的可溶性固形物均呈现不同程度的降低,微波处理样变化最小,超高温处理样显著低于其他处理样;贮藏 0 d 时巴氏灭菌样总酸含量显著高于其他 3 个处理样且贮藏期间下降最大,而其他 3 个处理样贮藏至 90 d 时总酸均呈现不同程度升高,微波处理样总酸含量最高;热处理样中花色苷含量均高于对照样,主要是由于热处理可在不同程度上破坏引起花色苷降解的酶,然而高温也会引起花色苷的分解,因此适宜的热处理可有效保留蓝莓汁中的花色苷。贮藏 90 d 后,光照、温度等引起蓝莓汁中的花色苷含量均出现不同程度的下降,微波处理样中花色苷含量显著高于其他 3 个处理样,超高温处理样中含量最低;0 d 时巴氏灭菌处理样中多酚含量显著高于其他 3 个处理样,贮藏 90 d 后微波处理样中多酚含量显著高于其他 3 个样,对照样中多酚含量损失最高;不同热处理蓝莓汁 DPPH 自由基清除率贮藏 90 d 后差异极其显著($p < 0.001$),对照样 DPPH 自由基清除率显著低于热处理样,微波处理样 DPPH 自由基清除率高达 89.22%,说明微波灭菌能有效保留蓝莓汁中抗氧化活性成分;不同热处理对蓝莓汁色泽变化值(ΔE)的影响差异极其显著,贮藏 90 d 后,微波处理样色泽变化最小,而对照样色泽变化最大,接近土灰色,色泽变化大小与蓝莓果汁中花色苷含量、多酚含量和 DPPH 自由基清除率呈相反趋势,说明花色苷含量对色泽的影响明显,也说明微波处理能更好的保留蓝莓汁中营养成分和色泽。

3 结 语

通过不同热处理对蓝莓汁挥发性香气成分、灭菌效果、营养成分、DPPH 自由基清除力影响的研究。结果表明:

1) 热处理能够有效对蓝莓汁进行灭菌,提高抗氧化能力,其中微波灭菌对蓝莓汁中微生物的灭菌效果最彻底,可溶性固形物、总酸含量及色泽变化最小,花色苷含量、多酚保留率最高,贮藏 90 d 后微波灭菌样的 DPPH 自由基清除率仍高达 89.22%;

2) 蓝莓汁主要的香气成分为醛类、醇类、酯类组成,还含有酮类、烯烷类、羧酸类、杂环类及芳香族类化合物。不同热处理可以增加蓝莓汁中挥发性香气成分,与对照样相比,巴氏灭菌和超高温增加

表 2 不同热处理对蓝莓汁品质的影响

Table 2 Effect of different thermal treatment on quality of blueberry juice

处理 方式	90 d 后菌 落总数/ (cfu/mL)	TSS/%		总酸/%		花色苷/(mg/hg)		多酚/(mg/g)		DPPH 自 由基清除 率/%	ΔE
		0 d	90 d	0 d	90 d	0 d	90 d	0 d	90 d		
CK	275 000 ^a	5.70±0.00 ^b	4.93±0.05 ^c	4.83± 0.08 ^{bc}	5.78± 0.08 ^a	22.48± 0.02 ^d	17.25± 0.10 ^c	0.79± 0.10 ^b	0.17± 0.02 ^b	58.29± 0.29 ^d	13.11± 0.57 ^a
PS	89 ^c	6.10±0.10 ^a	8.76±0.01 ^a	5.27± 0.00 ^a	5.61± 0.04 ^b	24.69± 0.03 ^a	20.66± 0.23 ^b	0.87± 0.01 ^a	0.17± 0.00 ^b	81.72± 0.56 ^b	4.58± 0.13 ^c
UHT	105 ^b	5.60±0.00 ^b	2.97±0.01 ^d	4.88± 0.01 ^b	2.79± 0.01 ^a	23.76± 0.05 ^b	10.93± 0.04 ^d	0.71± 0.01 ^c	0.17± 0.01 ^b	72.18± 0.08 ^c	8.37± 0.06 ^b
MS	56 ^d	5.50±0.00 ^b	5.41±0.10 ^b	4.78± 0.01 ^c	5.17± 0.43 ^c	22.90± 0.02 ^c	21.12± 0.27 ^a	0.67± 0.01 ^d	0.20± 0.04 ^a	89.22± 0.40 ^a	3.21± 0.23 ^d

注:数据结果为均值±标准差(n=3);同一列中具有不同上标者表示差异显著($p<0.05$)。

了2种,微波灭菌比其他3个处理样增加了戊烯、N-二甲基亚硝胺、丁酸乙酯等香气成分。因此,微波灭菌样香气浓郁,具有强烈的果香味。

微波技术与传统的热处理技术相比,加热均

匀、保护果汁中热敏性营养素、减少其天然色泽和香味的流失,还可以避免灌装引起的二次污染,在果汁类产品灭菌中具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 贺强,吴立仁. 蓝莓果实中营养成分的生物学功能[J]. 北方园艺,2010(24):222-224.
HE Qiang, WU Liren. Discussions on the biological function of nutrients in blueberry fruit [J]. **Northern Horticulture**, 2010 (24):222-224. (in Chinese)
- [2] 陈介甫,李亚东,徐哲. 蓝莓的主要化学成分及生物活性[J]. 药学报,2010,45(4):422-429.
CHEN Chieh-fu1, LI Ya-dong, XU Zhe. Chemical principles and bioactivities of blueberry [J]. **Acta Pharmaceutica Sinica**, 2010, 45(4):422-429. (in Chinese)
- [3] 樊基胜,吴林生,张春龙,等. 野生蓝莓资源的开发与利用[J]. 园艺与种苗,2012(6):93-95.
FAN Jisheng, WU Guilin, ZHANG Chunlong, et al. Development and utilization of wild blueberries [J]. **Horticulture & Seed**, 2012(6):93-95.
- [4] Kader F, Rovell F, Girardin M, Metche M. Mechanism of browning in fresh highbush blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L). Role of blueberry polyphenol oxidase, chlorogenic acid and anthocyanins [J]. **Journal of the Science of Food and Agricultural**, 1999, 74(1):31-34.
- [5] Rossi M, Giussani E, Morelli R, et al. Effect of fruit blanching on phenolics and radical scavenging activity of highbush blueberry juice[J]. **Food Research International**, 2003, 36(9):999-1005.
- [6] Lee J, Durst R W, Wrolstad R E. Impact of juice processing on blueberry anthocyanins and polyphenolics: comparison of two pretreatments[J]. **Journal of Food Science**, 2002, 67(5):1660-1667.
- [7] Barba F J, Esteve M J, Frigola A. Physicochemical and nutritional characteristics of blueberry juice after high pressure processing [J]. **Food Research International**, 2013, 50(2):545-549.
- [8] Barba F J, Jager H, Meneses N, et al. Evaluation of quality changes of blueberry juice during refrigerated storage after high-pressure and pulsed electric fields processing[J]. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 2012, 14:18-24.
- [9] 房子舒,易俊洁,张雅洁,等. 超高压和高温瞬时杀菌对蓝莓汁品质影响的比较[J]. 食品与发酵工业,2012,38(12):7-10.
FANG Zishu, YI Junjie, ZHANG Yajie, et al. Effect of short time sterilization with high hydrostatic pressure and high temperature on the quality of blueberry juice[J]. **Food and Fermentation Industries**, 2012, 38(12):7-10. (in Chinese)
- [10] Buckow R, Kastell A, Terefe N, et al. Pressure and temperature effects on degradation kinetics and storage stability of total anthocyanins in blueberry juice[J]. **Journal of agricultural and food Chemistry**, 2010, 58:10076-10084.
- [11] 刘佳,王海钢,岳鹏翔,等. 热处理与微波处理对蓝莓汁品质的影响[J]. 食品工业科技,2012,33(17):235-24.
LIU Jia, WANG Haigang, YUE Pengxiang, et al. Effects of thermal and microwave treatment on blueberry juice quality [J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2012, 33(17):235-244. (in Chinese)