

调制乳加工及储藏过程中草莓香精挥发性成分的变化

赵晓璇¹, 张书文¹, 魏妙宏¹, 逢晓阳¹, 芦晶^{2*}, 吕加平^{1*}

(¹中国农业科学院农产品加工研究所 北京 100193

²北京工商大学食品与健康学院 北京 100048)

摘要 采用顶空固相微萃取(SPME)结合气相-质谱联用仪(GC-MS)测定 6 种草莓香精中的风味化合物。从中选取一种草莓香精,研究调制乳加工及储藏过程对其挥发性成分的影响,并对比其在水中与牛乳中的变化。以均质前、后和灭菌(137℃,4 s)后为 3 个过程点取样进行 SPME-GC-MS 检测,并在室温储藏第 0,15,43,98 天和 198 天时,对样品进行检测。选取 5 号草莓香精中 3 个主要挥发性化合物丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯及己酸乙酯,分别按其在草莓香精中所占比例单独加入牛乳中,研究其变化。结果表明,灭菌后丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯及己酸乙酯含量较均质前分别下降 28.92%、35.92%和 29.91%。储藏第 198 天与第 0 天相比,牛乳及水中草莓香精部分挥发性化合物含量显著上升($P<0.05$)。热处理及储藏时间对草莓香精中挥发性成分的影响较大。

关键词 草莓香精;加工过程;挥发性化合物;贮藏稳定性

文章编号 1009-7848(2023)08-0254-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.08.026

我国乳及乳制品的消费量呈逐年上升趋势。乳品能够提供符合人体健康的各种营养素以及多种生物活性成分,并且其口感和香气深受大众的喜爱,在食品行业中占据重要地位。除了口感、营养物质含量的影响外,不同人群对乳品风味的喜好程度也是影响其销量的因素^[1]。随着消费需求的升级和消费水平的提高,人们的选择也越来越多样化,更倾向于选择具有多样风味及富含高营养物质的乳品。

牛乳中一些原有的风味物质会受加工^[2]、贮存^[3]、氧化^[4]、水解及内源酶等影响而遭到破坏^[5]。为了补充因各种原因造成的食品风味缺失以及满足消费者对多重口味的需求,企业会在乳制品中添加少量香精使其风味得到一定的改善或是达到预期的风味。常见的调制乳口味有草莓味、香蕉味及巧克力味等。在实际应用中发现,同一香精在不同产品中的风味不同,且不同的加工方式也会对同

一香精的风味产生影响,而关于此变化的研究报道还较少,加热过程是否对香精中主要成分有影响也较少报道。乳品香精的发展决定着调制乳制品的前景,研究香精在调制乳加工过程中的变化很有必要。产品的结构和成分对风味的影响是许多学者研究的对象^[6-8]。为了研究草莓香精在调制乳加工以及储藏过程中挥发性成分的变化,以牛乳为原料进行试验,并与将草莓香精加入水中的结果作比较,采用固相微萃取(SPME)结合 GC-MS 测定草莓香精在牛乳及水中的风味释放量,并根据试验结果选取草莓香精中 3 种主要香气化合物,分析加工过程对其成分的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜原料乳取自北京某牧场。快速冷却到 4℃,2 h 内运往实验室。草莓香精 1 号,杭州法曼香精有限公司;草莓香精 2 号,广州花臣香精有限公司;草莓香精 3~6 号,海宁恒枫香精香料有限公司。

丁酸乙酯、己酸乙酯标品,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;2-甲基丁酸乙酯标品,上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

GCMS-QP2010 plus 气相色谱-质谱联用仪

收稿日期: 2022-08-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1604306, 2018YFC1604301); 宁夏重点研发计划项目(2021BEF02022); 内蒙古科技计划项目(2021GG0368)

第一作者: 赵晓璇,女,硕士生

通信作者: 芦晶 E-mail: lujing@btbu.edu.cn

吕加平 E-mail: lvjiapingcaas@126.com

器,日本岛津公司;PDMS/DVB 萃取头(65 μm),美国 Supelco 公司;UHT 杀菌机,日本 Powerpoint 公司。

1.3 方法

1.3.1 草莓味调制乳中试加工 对原料乳进行巴氏杀菌(65 $^{\circ}\text{C}$, 30 min),取 1 L 巴氏奶加热到 70~75 $^{\circ}\text{C}$,加入总奶质量 0.2%的环状糊精,边加边搅拌,使其充分溶解。将融有环状糊精的奶加入到剩余的牛奶中,充分混匀。随后按比例将草莓香精直接加入,使其含量为 0.06%,搅拌均匀。将处理好的牛乳加热到 65~75 $^{\circ}\text{C}$ 后进行均质处理,均质压力为 20 MPa。将均质后的牛乳用 UHT 杀菌机进行 137 $^{\circ}\text{C}$ 、4 s 超高温灭菌,灭菌后的牛乳进行无菌灌装。以水为原料时,加工过程与以牛乳为原料时相同。

分别在在均质前、均质后以及灭菌后这 3 个加工过程点进行取样,每个过程点取 3 次样。将加工后的草莓味调制乳在室温下进行储藏,并在包装后的第 0, 15, 43, 98, 198 天从密封的瓶中进行取样,每个样品取 3 次样。

1.3.2 顶空固相萃取结合气相色谱-质谱法分析

1.3.2.1 样品制备 取 6 种草莓香精样品,分别加水稀释 1 000 倍。本试验中其它待测样品不需要加水稀释。

1.3.2.2 顶空固相萃取条件 纤维头:PDMS/

DVB;平衡温度:30 $^{\circ}\text{C}$;振荡时间:20 min;萃取时间:20 min。

1.3.2.3 GC 条件 色谱柱:DB-WAX (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm),程序升温:40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 3 min,以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升温至 180 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min;样品运行时间:22 min;进样口温度:250 $^{\circ}\text{C}$;柱流速:1.2 mL/min;载气:氦气,流速:1 mL/min。

1.3.2.4 质谱条件 电离方式为 EI,电子能量为 70 eV,离子源温度为 200 $^{\circ}\text{C}$,接口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$ 。采用全扫描方式,范围为 50.0~500.0 m/z 。

2 结果与讨论

2.1 草莓香精风味化合物的定性分析

为了确定草莓香精风味主要化合物的组成,采用 SPME 结合 GC-MS 方法对已购 6 种草莓香精进行风味成分分析,同时与文献中报道的草莓香精^[9-10]进行比较。与文献中草莓香精的 12 种风味化合物(丙二醇为溶剂)相比,已购 6 种草莓香精均含有丁酸乙酯、己酸乙酯、肉桂酸甲酯、丙位癸内酯,大部分含有 2-甲基丁酸乙酯、叶醇、芳樟醇。为了便于接下来研究调制乳加工过程对于整体草莓香精的影响,综合考虑选取风味比较好且涵盖文献中草莓香精主要风味化合物较全的草莓香精 5 号,其中每种挥发性风味化合物的相对含量见表 1。

表 1 草莓香精 5 号挥发性风味化合物组成

Table 1 Composition of volatile flavor compounds of strawberry flavor No. 5

序号	保留时间/min	分子式	分子质量	化合物名称	相对含量/%
1	5.046	C ₆ H ₁₂ O ₂	116	丁酸乙酯	11.56
2	5.303	C ₇ H ₁₄ O ₂	130	2-甲基丁酸乙酯	11.35
3	8.394	C ₈ H ₁₆ O ₂	144	正己酸乙酯	14.09
4	9.703	C ₈ H ₁₄ O ₂	142	乙酸叶醇酯	7.94
5	10.234	C ₆ H ₁₄ O	102	正己醇	0.50
6	10.380	C ₆ H ₁₂ O	100	4-己烯-1-醇	0.10
7	10.681	C ₆ H ₁₂ O	100	叶醇	8.83
8	11.308	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	186	异戊酸乙酯	0.32
9	11.755	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	(Z)-丁酸-3-己烯酯	1.50
10	11.928	C ₁₁ H ₂₀ O ₂	184	2-甲基丁酸叶醇酯	0.90
11	12.581	C ₇ H ₆ O	106	苯甲醛	0.32
12	12.843	C ₁₀ H ₁₈ O	154	芳樟醇	1.17
13	13.686	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200	己酸乙酯	1.45
14	13.768	C ₉ H ₁₆ O ₄	188	2,4-二甲基-1,3-二恶烷-2-乙酸乙酯	1.94

(续表 1)

序号	保留时间/min	分子式	分子质量	化合物名称	相对含量/%
15	14.237	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	198	(Z)-己酸-3-己烯酯	1.03
16	15.086	C ₉ H ₁₀ O ₂	150	乙酸苜酯	1.04
17	15.591	C ₉ H ₁₆ O ₃	172	顺式-3-己烯醇乳酸酯	0.47
18	16.702	C ₇ H ₈ O	108	苯甲醇	1.43
19	19.258	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	162	肉桂酸甲酯	2.26
20	20.392	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	丙位癸内酯	1.12

2.2 加工过程对草莓香精挥发性成分的影响

由表 2 可以看出草莓香精经调制乳加工过程后,其挥发性风味物质的含量发生了变化,在经过超高温灭菌后,新生成物质有 2-庚酮、顺式-3-己烯酯 2-甲基丁酸酯和乙基麦芽酚。2-庚酮可能是环丙基甲酮经过加热诱导而产生,也可由脂肪的 β -氧化所产生^[3]。正己醇和苯甲醇的含量经加工过程后呈下降趋势。丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯、正己酸乙酯、正己醇、叶醇、肉桂酸甲酯和丙位癸内酯的含量呈先降低后增加的趋势。灭菌后检测到部分风味化合物含量增加,这可能是由于当外界

温度达到蛋白的变性温度时,蛋白与风味化合物之间的结合程度会受到显著影响。热处理会使蛋白分子展开,从而导致与风味化合物的结合常数减小^[11]。由于用相同 GC-MS 条件无法测出牛乳中存在的挥发性化合物,因此可以除去牛乳中可能存在的挥发性风味化合物的影响。虽然由表 2 可以看出,草莓香精中的风味化合物经过调制乳加工过程后含量会发生一些变化,但通过 SPSS 数据分析后,发现其变化并不显著,而热处理会使其产生新的挥发性风味物质。

表 2 草莓香精以奶为原料在 3 个加工过程点的风味物质积分峰面积 ($\times 10^6$)Table 2 Integrated peak area of flavor substances of strawberry flavor from milk at three processing points ($\times 10^6$)

分子式	分子质量	物质	均质前	均质后	灭菌后
C ₆ H ₁₂ O ₂	116	丁酸乙酯	15.43 ± 0.91	15.28 ± 0.05	16.79 ± 1.40
C ₇ H ₁₄ O ₂	130	2-甲基丁酸乙酯	21.48 ± 0.38	20.28 ± 0.007	24.58 ± 1.61
C ₇ H ₁₄ O	114	2-庚酮	-	-	0.48 ± 0.10
C ₈ H ₁₆ O ₂	144	正己酸乙酯	10.57 ± 0.95	8.6 ± 0.18	9.94 ± 0.20
C ₈ H ₁₄ O ₂	142	乙酸叶醇酯	5.44 ± 0.76	-	5.98 ± 0.03
C ₆ H ₁₄ O	102	正己醇	0.54 ± 0.04	0.52 ± 0.07	0.48 ± 0.008
C ₆ H ₁₂ O	100	叶醇	11.00 ± 0.51	10.00 ± 0.01	10.20 ± 0.09
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	2-甲基-3-己基-(E)-丙酸	0.50 ± 0.08	0.34 ± 0.04	0.34 ± 0.002
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	184	顺式-3-己烯醇 2-甲基丁酸酯	-	-	0.21 ± 0.004
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	184	2-甲基丁酸叶醇酯	0.34 ± 0.06	0.20 ± 0.03	-
C ₁₀ H ₁₈ O	154	芳樟醇	0.84 ± 0.20	0.62 ± 0.03	0.63 ± 0.03
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200	己酸己酯	0.18 ± 0.04	0.56 ± 0.44	0.11 ± 0.02
C ₉ H ₁₀ O ₂	150	乙酸苜酯	0.29 ± 0.29	-	0.34 ± 0.02
C ₉ H ₁₆ O ₃	172	顺式-3-己烯醇乳酸酯	0.54 ± 0.10	-	0.44 ± 0.02
C ₇ H ₈ O	108	苯甲醇	1.80 ± 0.27	1.60 ± 0.08	1.55 ± 0.07
C ₇ H ₈ O ₃	140	乙基麦芽酚	-	-	0.24 ± 0.07
C ₁₀ H ₁₀ O ₂	162	肉桂酸甲酯	0.24 ± 0.05	0.18 ± 0.03	0.19 ± 0.02
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	丙位癸内酯	0.17 ± 0.03	0.12 ± 0.02	0.15 ± 0.004

注:“-”表示未检测出。

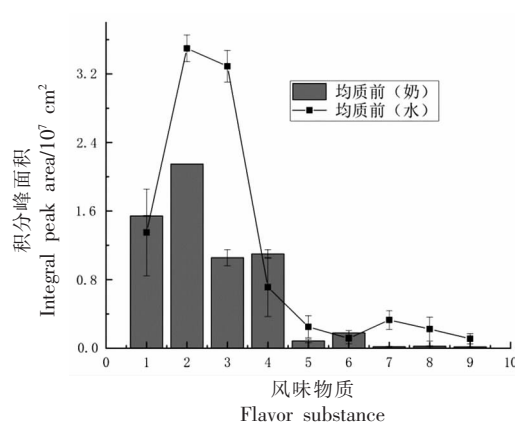
相同处理条件下,将草莓香精加入到牛乳中与加入到水中作比较,并选取了部分挥发性风味化合物的含量进行对比。由图 1 可以看出,加入到水中的草莓香精,其挥发性风味化合物的含量大多高于加入到牛乳中的含量。造成这个结果的原因可能是乳蛋白和一些芳香化合物之间的特殊相互作用。众所周知,牛奶中的蛋白质,例如酪蛋白和乳清蛋白,由于其化学性质的作用,能够结合芳香化合物,从而能够导致香味释放的减少^[12-15]。牛乳与草莓香精中的风味化合物结合的较为紧密,因此所测含量低于以水为原料测得的含量。

2.3 加工过程对草莓香精中所含 3 种主要挥发性成分的影响

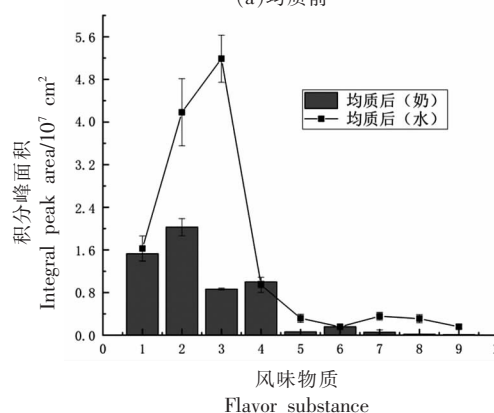
选取草莓香精中所含的 3 种主要挥发性风味化合物丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯和己酸乙酯,分别按照其在草莓香精中所占比例单独加在牛乳中,其它条件不变,经过加工后,分析其变化。选取均质前、均质后以及灭菌后这 3 个加工过程点作为检测点。

2.3.1 丁酸乙酯 由图 2 可以看出在进行均质以及灭菌后,有新物质正己酸乙酯生成。通过观察图中积分峰面积变化,可以得到丁酸乙酯在加工过程中,其含量一直呈下降趋势,灭菌后比配料后含量下降了 28.92%,且新生成的挥发性化合物正己酸乙酯含量呈上升趋势。新物质正己酸乙酯的生成,可能是由于加工过程中温度上升,导致丁酸乙酯在牛乳中由于某些复杂反应发生了水解,形成了丁酸和乙醇,使牛乳呈弱酸性,乙醇可能会与牛乳中的脂肪酸反应,最终生成正己酸乙酯。

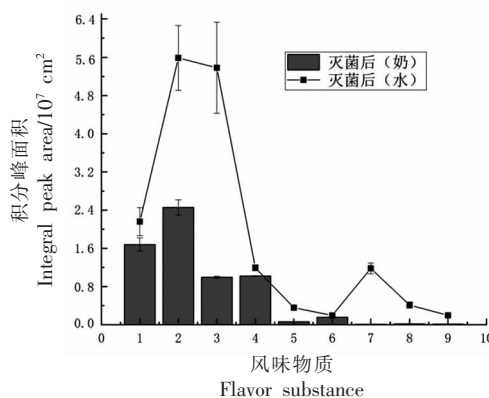
2.3.2 2-甲基丁酸乙酯 由图 3 可看出经过均质以及超高温灭菌后,有新挥发性化合物丁酸乙酯生成。在本试验中,用检测草莓香精的 GC-MS 方法,未能在原料奶中检出丁酸乙酯,可能是由于原料奶中其含量较低,无法检出。然而,原料奶中最主要的香气风味物质是己酸乙酯和丁酸乙酯^[16]。通过在牛乳中加入 2-甲基丁酸乙酯以及由于加工过程中温度的升高,可能导致牛乳中蛋白质与丁酸乙酯的结合减弱,使其释放出来,导致其含量的上升。图中 2-甲基丁酸乙酯灭菌后与加入配料后的含量相比下降了 35.92%,可能是由于均质促进了 2-甲基丁酸乙酯与牛乳中的蛋白质结合,也



(a)均质前



(b)均质后



(c)灭菌后

注:1. 丁酸乙酯;2. 2-甲基丁酸乙酯;3. 正己酸乙酯;4. 叶醇;5. 芳樟醇;6. 苯甲醇;7. 己酸己酯;8. 肉桂酸甲酯;9. 丙位癸内酯。

图 1 相同条件下草莓香精在水与牛乳中 3 个加工过程点的风味物质含量比较

Fig.1 Comparison of flavoring substances of strawberry flavor in three processing points of water and milk under the same conditions

可能是被分解生成了新物质丁酸乙酯,导致其含量的下降。

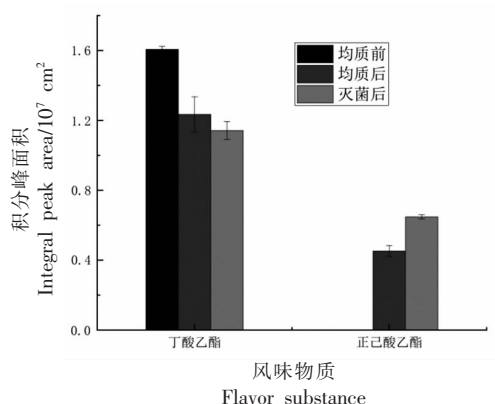


图2 丁酸乙酯在调制乳加工过程中3个过程点的积分峰面积变化

Fig.2 Changes of integral peak area of ethyl butyrate at three process points during modified milk processing

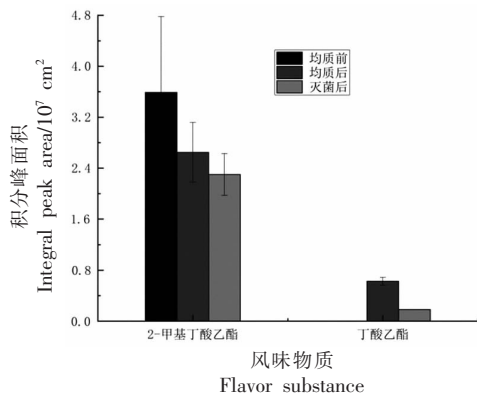


图3 2-甲基丁酸乙酯在调制乳加工过程中3个过程点的积分峰面积变化

Fig.3 Changes of integral peak area of ethyl 2-methylbutyrate at three process points during modified milk processing

2.3.3 己酸乙酯 由图4可以看出在奶中加入正己酸乙酯后进行检测,就已经有庚酸乙酯和2-己烯酸乙酯两种新物质生成。Lubbers等^[17]研究了草莓风味化合物在搅拌型酸奶中的释放情况,发现酸奶的组分如蛋白、多糖、果基等均对风味化合物的释放有显著影响,己酸乙酯以及乙酸己脂含量分别下降48%和53%。且由于食物系统是复杂的,风味化合物可以同时与其它成分,如水、脂类、碳水化合物、维生素和矿物质在食物基质中相互作用。然而,对于富含蛋白质的食物,如乳制品和肉制品,蛋白质被认为是导致风味损失或释放的重要成分^[18]。可以推断图中己酸乙酯的含量下降可能是由于经过加工过程后使其产生了新物质庚酸乙酯和2-己烯酸乙酯,或是由于奶中的蛋白质及多糖的影响使其含量减少,与刚加入己酸乙酯后检测的含量相比,灭菌后其含量减少了29.91%。

2.4 储藏时间对草莓香精挥发性成分的影响

表3为选取草莓香精中部分主要挥发性风味化合物,可看出经过储藏后,所选挥发性风味化合物含量总体呈上升趋势,98 d到198 d含量上升最为明显。通过使用SPSS软件对其进行显著性分析,可得到储藏第198天与第0天相比,所选挥发性风味化合物的含量均显著上升($P < 0.05$)。在储藏前期,可能由于蛋白质与挥发性化合物的结合较为紧密,导致其检测值较低,在储藏后期,由于储藏期间,乳中蛋白质含量、乳糖含量及乳脂肪含

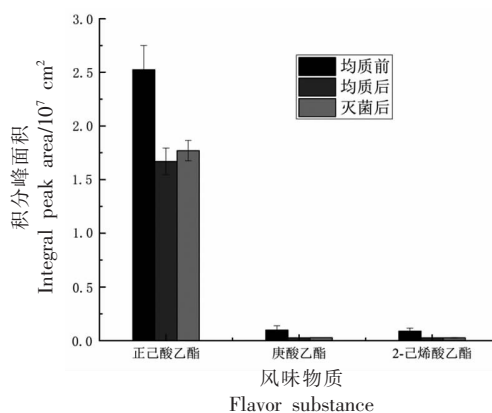


图4 正己酸乙酯在调制乳加工过程中3个过程点的积分峰面积变化

Fig.4 Changes of integral peak area of ethyl *n*-caproate at three process points during modified milk processing

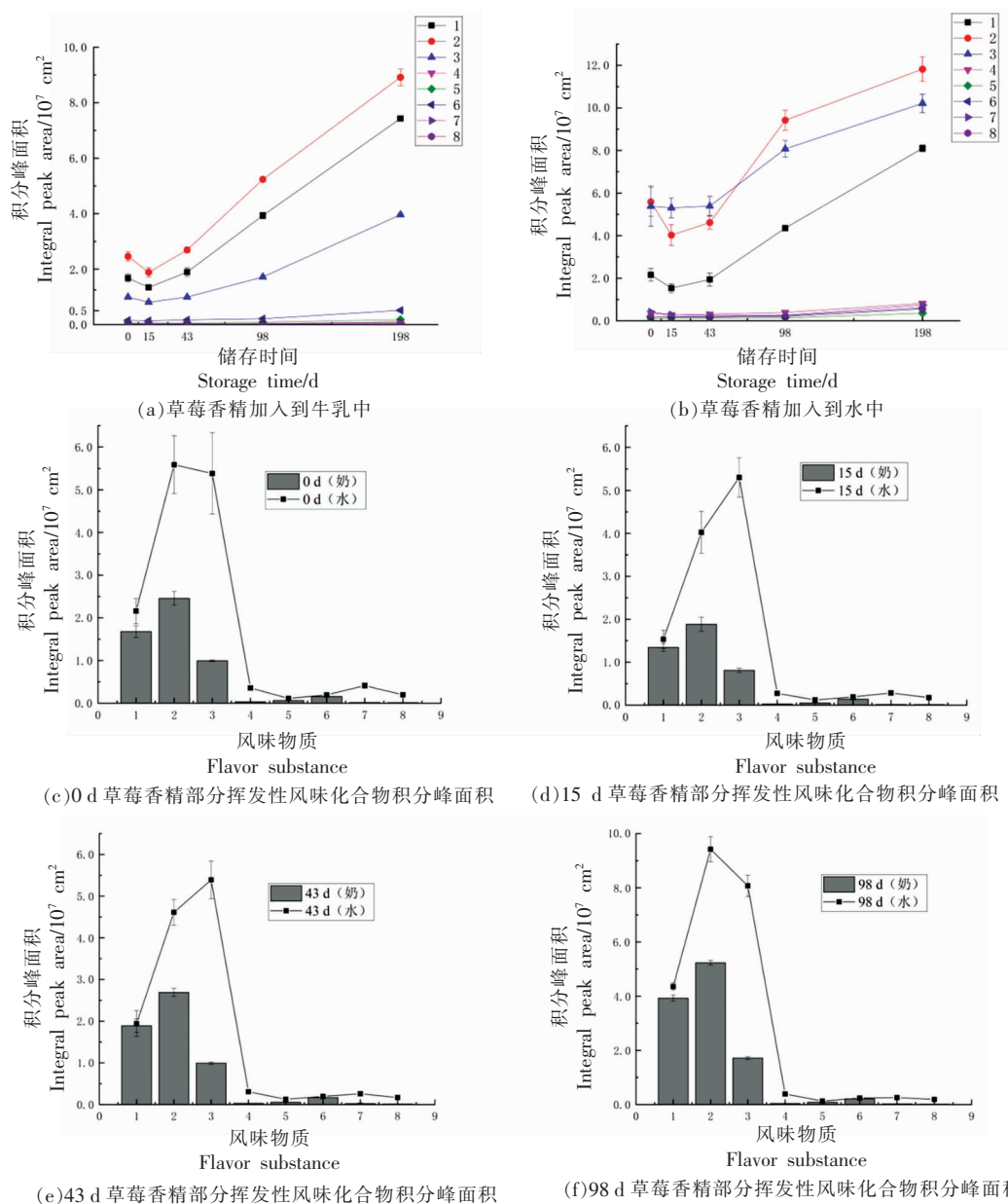
量随保藏时间的延长呈下降趋势,而酸度呈上升趋势^[19],可能导致蛋白质与挥发性化合物的结合减少,使其释放增加,含量增加。

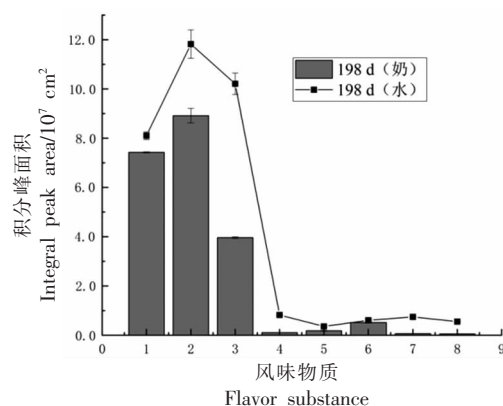
由图5a和5b可以看出,经过储藏后草莓香精在以牛乳以及水为原料中部分挥发性化合物的含量都会增加。由图5c~5g可知,在以水为原料的样品中,挥发性风味化合物的含量都高于以牛乳为原料的样品。目前已经有很多关于蛋白质结合醇、醛、酮、酯等挥发性成分的报道,其中报道最多的是牛奶蛋白^[20-22],以 β -乳球蛋白的研究居多。研究者通过核磁共振^[23]、平衡透析^[24]、荧光^[25]等技术

表 3 草莓香精以牛乳为原料经过调制乳加工过程后在储藏过程中风味物质的积分峰面积($\times 10^6$)
 Table 3 The peak area of flavoring substances in strawberry flavor during the storage process of modified milk after being processed with milk as raw material ($\times 10^6$)

挥发性成分	0 d	15 d	43 d	98 d	198 d
丁酸乙酯	16.79 \pm 1.40 ^{cd}	13.42 \pm 0.93 ^d	18.92 \pm 1.61 ^c	39.32 \pm 1.14 ^b	74.27 \pm 0.22 ^a
2-甲基丁酸乙酯	24.58 \pm 1.61 ^c	18.84 \pm 1.64 ^d	26.92 \pm 0.96 ^c	52.36 \pm 0.85 ^b	89.15 \pm 2.95 ^a
正己酸乙酯	9.94 \pm 0.20 ^c	8.10 \pm 0.51 ^d	9.94 \pm 0.31 ^c	17.18 \pm 0.55 ^b	39.62 \pm 0.35 ^a
乙酸苜酯	0.34 \pm 0.02 ^{bc}	0.28 \pm 0.00 ^c	0.31 \pm 0.03 ^c	0.43 \pm 0.02 ^b	1.06 \pm 0.07 ^a
芳樟醇	0.63 \pm 0.03 ^{bc}	0.51 \pm 0.01 ^c	0.57 \pm 0.06 ^c	0.87 \pm 0.05 ^b	1.80 \pm 0.20 ^a
苯甲醇	1.55 \pm 0.06 ^c	1.40 \pm 0.18 ^c	1.69 \pm 0.07 ^c	2.11 \pm 0.01 ^b	5.14 \pm 0.13 ^a
肉桂酸甲酯	0.19 \pm 0.02 ^b	0.16 \pm 0.01 ^b	0.26 \pm 0.14 ^b	0.26 \pm 0.00 ^b	0.62 \pm 0.02 ^a
丙位癸内酯	0.15 \pm 0.00 ^c	0.13 \pm 0.00 ^c	0.14 \pm 0.01 ^c	0.20 \pm 0.00 ^b	0.52 \pm 0.00 ^a

注:上标小写字母表示同一挥发性成分在不同储藏时间的显著性比较($P < 0.05$)。





(g) 198 d 草莓香精部分挥发性风味化合物积分峰面积

注: 1. 丁酸乙酯; 2. 2-甲基丁酸乙酯; 3. 正己酸乙酯; 4. 乙酸苜酯; 5. 芳樟醇; 6. 苯甲醇; 7. 肉桂酸甲酯; 8. 丙位癸内酯。

图5 草莓香精经过调制乳加工过程后在储藏期部分挥发性风味化合物积分峰面积的变化

Fig.5 Changes of the integral peak area of some volatile flavor compounds in strawberry flavors during storage after the processing of modified milk

手段对 β -乳球蛋白的风味结合位点进行分析,发现 β -乳球蛋白中存在多个不同的结合位点,甚至发现了作用较弱的二次结合位点,而 α -乳白蛋白可以结合酮类与醛类化合物^[20]。由此可以解释所测牛乳中草莓香精挥发性风味化合物的含量较水中低。

3 结论

以上试验结果表明,调制乳加工过程虽对草莓香精整体影响不大,但会对其含有的部分挥发性化合物产生影响,如文中所选取的丁酸乙酯、2-甲基丁酸乙酯和己酸乙酯,加工过程都会使其含量下降,且有新物质产生,但具体作用机制还需要后续进行研究。储藏时间对草莓香精的影响较大,储藏第0天与第198天相比,草莓香精中部分挥发性化合物含量显著上升($P < 0.05$),可能会对产品的风味品质造成一定的影响。草莓香精中挥发性化合物含量的变化与原料种类有关,试验结果可得风味物质在水中比在牛乳中更容易释放出来。

参 考 文 献

[1] 孙嘉卿, 冯涛, 宋诗清, 等. 乳品香精的研究进展[J]. 乳业科学与技术, 2020, 43(3): 50-54.
SUN J Q, FENG T, SONG S Q, et al. Research progress of dairy flavor[J]. Dairy Science and Tech-

nology, 2020, 43(3): 50-54.

- [2] BOEKEL M. Effect of heating on Maillard reactions in milk[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 403-414.
- [3] VALERO E, VILLAMIEL M, MIRALLES B, et al. Changes in flavour and volatile components during storage of whole and skimmed UHT milk[J]. Food Chemistry, 2001, 72(1): 51-58.
- [4] AURAND L W, WOODS A E. Role of xanthine oxidase in the development of spontaneously oxidized flavor in milk[J]. Journal of Dairy Science, 1959, 42(7): 1111-1118.
- [5] 刘芳, 霍贵成. 操作瘤胃微生物改善牛乳风味[J]. 乳业科学与技术, 2001, 24(4): 14-17.
LIU F, HUO G C. Manipulation of rumen microorganisms to improve milk flavor[J]. Dairy Science and Technology, 2001, 24(4): 14-17.
- [6] ROBERTS D D, ELMORE J S, LANGLEY K R, et al. Effects of sucrose, guar gum, and carboxymethylcellulose on the release of volatile flavor compounds under dynamic conditions[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1996, 44(5): 1321-1326.
- [7] WEEL K, BOELRIJK A, ALTING A C, et al. Flavor release and perception of flavored whey protein gels; Perception is determined by texture rather than by release[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(18): 5149-5155.
- [8] ARVISENET G, VOILLEY A, CAYOT N. Retention of aroma compounds in starch matrices; Competi-

- tions between aroma compounds toward amylose and amylopectin[J]. *J Agric Food Chem*, 2002, 50(25): 7345–7349.
- [9] HEILIG A, SONNE A, SCHIEBERLE P, et al. Determination of aroma compound partition coefficients in aqueous, polysaccharide and dairy matrices using the phase ratio variation (PRV) method: A review and modeling approach[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(22): 4450–4470.
- [10] HEILIG A, ÇETIN S, ERPENBACH K, et al. Inherent and process-induced hydrophobicity influences aroma retention in fat-free dairy matrices[J]. *International Dairy Journal*, 2011, 21(9): 696–702.
- [11] 徐姣. 草莓风味大豆蛋白饮料中影响风味释放的因素研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
XU J. Study on factors affecting flavor release in strawberry flavor soybean protein beverage[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.
- [12] RUTH S, VILLENEUVE E. Influence of β -lactoglobulin, pH and presence of other aroma compounds on the air/liquid partition coefficients of 20 aroma compounds varying in functional group and chain length[J]. *Food Chemistry*, 2002, 79(2): 157–164.
- [13] FARES K, LANDY P, GUILARD R, et al. Physicochemical interactions between aroma compounds and milk proteins: Effect of water and protein modification[J]. *Journal of Dairy Science*, 1998, 81(1): 82–91.
- [14] LUBBERS S, LANDY P, VOILLEY A. Retention and release of aroma compounds in foods containing proteins[J]. *Food Technology*, 1998, 52(5): 68, 70, 72, 74, 208, 210, 212.
- [15] SEUVRE A M, DIAZ M, VOILLEY A. Retention of aroma compounds by β -lactoglobulin in different conditions[J]. *Food Chemistry*, 2002, 77(4): 421–429.
- [16] 李宁, 孙宝国. 乳品风味物质研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(8): 240–251.
LI N, SUN B G. Research progress of dairy flavor compounds[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2016, 42(8): 240–251.
- [17] LUBBERS S, DECOURCELLE N, VALLET N, et al. Flavor release and rheology behavior of strawberry fatfree stirred yogurt during storage[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(10): 3077–3082.
- [18] ZHANG J, KANG D C, ZHANG W G, et al. Recent advantage of interactions of protein-flavor in foods: Perspective of theoretical models, protein properties and extrinsic factors[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 111(10): 405–425.
- [19] 岳静, 朱志成, 张敏慧. UHT灭菌乳在不同保藏条件下品质的变化[J]. *食品工业*, 2014, 35(1): 174–176.
YUE J, ZHU Z C, ZHANG M H. Quality changes of UHT sterilized milk under different preservation conditions[J]. *Food Industry*, 2014, 35(1): 174–176.
- [20] KÜHN J, ZHU X Q, CONSIDINE T, et al. Binding of 2-nonanone and milk proteins in aqueous model systems[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2007, 55(9): 3599–3604.
- [21] KÜHN J, CONSIDINE T, SINGH H. Interactions of milk proteins and volatile flavor compounds: Implications in the development of protein foods[J]. *Journal of Food Ence*, 2010, 71(5): R72–R82.
- [22] CHOBPATTANA W, JEON I J, SMITH J S, et al. Mechanisms of interaction between vanillin and milk proteins in model systems[J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(3): 973–977.
- [23] LÜBKE M, GUICHARD E, TROMELIN A, et al. Nuclear magnetic resonance spectroscopic study of beta-lactoglobulin interactions with two flavor compounds, gamma-decalactone and beta-ionone[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2002, 50(24): 7094–7099.
- [24] O NEILL T E, KINSELLA J E. Binding of alkanone flavors to β -lactoglobulin: Effects of conformational and chemical modification[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1987, 35(5): 770–774.
- [25] JIE Z, LIU X, SUBIRADE M, et al. A study of multi-ligand beta-lactoglobulin complex formation[J]. *Food Chemistry*, 2014, 165: 256–261.

The Changes of Volatile Components in Strawberry Flavor during Processing and Storage of Modified Milk

Zhao Xiaoxuan¹, Zhang Shuwen¹, Wei Miaohong¹, Pang Xiaoyang¹, Lu Jing^{2*}, Lü Jiaping^{1*}
(¹*Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, 100193*
²*School of Food and Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048*)

Abstract The flavor compounds in six strawberry flavors were determined by headspace solid-phase microextraction (SPME) combined with gas-mass spectrometry (GC-MS), and one strawberry flavor was selected to study its volatilization during the processing and storage of modified milk. The influence rules of sexual components were compared and analyzed when they were added to water and milk. Samples were taken at three process points before homogenization, after homogenization and after sterilization (137 °C, 4 s) for SPME-GC-MS detection, and the samples stored at room temperature for days 0, 15, 43, 98 and 198 were tested. Three main volatile compounds, ethyl butyrate, ethyl 2-methylbutyrate and ethyl hexanoate in the No. 5 strawberry flavor, were selected and added to the milk according to their respective proportions in the strawberry flavor, and their individual changes were studied. The results showed that the contents of ethyl butyrate, ethyl 2-methyl butyrate and ethyl hexanoate decreased by 28.92%, 35.92% and 29.91%, respectively, after sterilization compared with those before homogenization. On the 198th day of storage, compared with the 0th day, the content of some volatile compounds in the strawberry flavor in milk and water increased significantly ($P < 0.05$). The results of this study showed that heat treatment and storage time had a great influence on the volatile components in strawberry flavor.

Keywords strawberry flavor; processing; volatile compounds; storage stability