

豆浆模拟体系中挥发性风味物质的比较研究

田其英^{1,2}, 华欲飞¹, 孔祥珍¹, 陈业明¹, 张彩猛¹

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏食品药品职业技术学院 食品学院, 江苏 淮安 223005)

摘要:选择大豆蛋白、大豆甘油三酯、大豆脂肪氧合酶和胰脂肪酶 4 种主要组分, 按照实际豆浆的组分含量和酶活大小进行混合制备豆浆模拟体系。分别利用二甲基酚橙法和顶空固相微萃取-气质联用法测定体系中脂质氢过氧化物和挥发性风味物质。结果表明: 脂肪氧合酶催化甘油三酯氧化生成的脂质氢过氧化物相当于 3.958 mmol/L H₂O₂, 生成的挥发性风味物质总量为 43.80 mg/kg; 而脂肪氧合酶催化甘油三酯水解产物生成的脂质氢过氧化物相当于 52.243 mmol/L H₂O₂, 生成的挥发性风味物质总量为 668.42 mg/kg。同时在该反应条件下对模拟体系和豆浆产生的挥发性风味物质进行主成分分析, 模拟体系和 3 个豆浆样品集中在得分图相近区域, 结果判定豆浆模拟体系产生的风味与真实豆浆的特征风味具有较好的相似性。

关键词: 豆浆模拟体系; 甘油三酯; 脂肪氧合酶; 顶空固相微萃取-气质联用; 挥发性风味物质; 主成分分析

中图分类号: TS214.2; TQ646

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2018)11-0116-06

Comparison of volatile flavor substances in soymilk model system

TIAN Qiyang^{1,2}, HUA Yufei¹, KONG Xiangzhen¹,
CHEN Yeming¹, ZHANG Caimeng¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China;
2. Food College, Jiangsu Food and Pharmaceutical Science College, Huai'an 223005, Jiangsu, China)

Abstract: Soybean protein, soybean triglyceride, soybean lipoxygenase and pancreatic lipase were mixed to prepare the soymilk model system according to the content of components and the enzyme activity in the real soymilk. The ferrous oxidation of xylenol orange assay and headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry were used to determine the lipid hydroperoxides and volatile flavor substances. The results showed that lipoxygenase catalyzed the oxidation of triglyceride to produce lipid hydroperoxide equivalent to 3.958 mmol/L H₂O₂, and the total amount of produced volatile flavor substances was 43.80 mg/kg. When the triglyceride hydrolysate was as enzymatic substrate, the lipid hydroperoxide was equivalent to 52.243 mmol/L H₂O₂, and the total amount of produced volatile flavor substances was 668.42 mg/kg. The flavor substances of soymilk and model system in the same reaction condition were analyzed by principal component analysis, and the model system and three soymilk samples were concentrated in the similar areas of the score map. The flavor produced by the soymilk model system had a good similarity with the characteristic flavor of the real soybean milk.

Key words: soymilk model system; triglyceride; lipoxygenase; headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry; volatile flavor substance; principal component analysis

收稿日期: 2018-07-24; 修回日期: 2018-08-02

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(31301496)

作者简介: 田其英(1980), 男, 讲师, 博士, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白(E-mail) tqy0612@163.com。

通信作者: 华欲飞, 教授(E-mail) yfhua@jiangnan.edu.cn。

豆浆作为大豆传统豆制品之一, 深受消费者的喜爱。豆浆为东方人群膳食结构中重要的蛋白质来源。近年来, 豆浆已成为西方国家乳糖不耐症患者重要的牛奶替代品^[1-2]。然而, 豆浆中存在的豆腥味极大限制了其应用和推广^[3-4]。

关于豆浆等豆制品中不良风味物质来源的研究, Andre 等^[5]首先发现大豆制品产生的豆腥味是因为不饱和脂肪酸酶促作用的结果, 其中关键的酶是脂肪氧合酶(Lipoxygenase, Lox), 这一发现在此后被许多研究者证实。大豆种子中存在的大量的甘油三酯、少量的磷脂和极少量的游离脂肪酸都可以作为 Lox 催化底物, 但是作用条件和结果并不相同。Zhuang 等^[6]在 Lox 同工酶催化不同的游离脂肪酸及其衍生物体系中研究了 C6 醛生成量, 结果发现在体系中二酰基甘油、三酰基甘油、磷脂等没有促进 C6 醛化合物的生成。虽然大豆甘油三酯不能被 Lox 氧化生成足量的挥发性风味物质, 但是在豆制品中甘油三酯水解产物游离脂肪酸被氧化后则有大量挥发性风味物质生成。在此酶促氧化过程中, 相对于多不饱和脂肪酸和脂肪氧合酶, 关于大豆脂肪酶的关注和深入研究较少。

成熟完整的大豆籽粒并不具有典型的豆腥味, 但其加工制品豆浆等基本上都有显著的豆腥味。其原因可能是在完整的大豆籽粒中甘油三酯浓度极高而游离脂肪酸极低且直接接触机会少, 加上缺氧以至于脂肪氧合酶催化脂质氧化的程度极其微弱无法形成足量阈值的不良风味物质^[7]。而浸泡大豆在磨浆瞬间会生成大量的挥发性风味物质, 在此瞬间 Lox 在催化氧化接触到油脂的同时, 大豆脂肪酶也在水解甘油三酯和磷脂生成游离脂肪酸来增添酶催化氧化底物, 虽然脂肪酶的水解在作用片刻后就被某些蛋白等物质抑制了, 但其作用不可忽视。由于大豆脂肪酶的活性不如脂肪氧合酶显著, 使得在大豆制品加工过程中其水解作用也往往被忽略。本研究通过建立豆浆风味形成模拟体系, 通过考察甘油三酯的水解和氧化情况, 研究脂肪酶在豆浆挥发性风味物质形成中的基础作用。以期为豆浆等制品的风味物质形成机理研究提供一种新的思路。

1 材料与方法

1.1 实验材料

豆浆专用大豆: 嫩江富民农副产品有限公司; 大豆蛋白(实验室自制); 精炼大豆油: 上海嘉里食品工业有限公司; 胰脂肪酶、2-甲基-3-庚酮标准物: 西格玛公司; 薄层层析硅胶板(G): 青岛海洋化工有限公司; 正己烷、无水乙醚为色谱纯: 美国 Fisher 公司。

MJ-60BE01B 型豆浆机: 美的公司; HimacCR 21G II 型冷冻离心机: 日本日立公司; LGJ-18 冷冻

干燥机: 北京四环科学仪器厂; T10 高速剪切机: 德国 IKA 公司; DVB/CAR/PDMS-50/30 μm 萃取头: 美国 Supelco 公司; SCIONSQ-456-GC 气质联用仪: 美国 Bruker 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 豆浆的制备

大豆洗净后, 按料液比 1:10 加水浸泡 18 h 后, 用豆浆机间隔打浆 3 min, 然后用四层纱布过滤除渣, 滤液即为生豆浆。采用凯氏定氮法测定豆浆中蛋白质含量, 然后加水稀释至 2%。

1.2.2 大豆 Lox 的提取

参考 Axelrod 等^[8]的方法, 并加以改进。大豆低温磨粉, 过 60 目筛, 按照 1:6 料水比搅拌均匀缓慢加入 0.5 mol/L 的盐酸溶液, 调节 pH 至 4.5 后搅拌 1 h。四层纱布过滤后, 离心(8 500 r/min, 30 min)后取上层清液, 用 2 mol/L NaOH 将上清液 pH 调至 6.8, 随后缓慢加硫酸铵粉末至其最终质量分数达到 40%, 搅拌 1 h 后离心, 取上清液调节 pH 至 6.8, 缓慢加硫酸铵粉末至其最终质量分数达到 60%。离心, 沉淀溶于磷酸盐溶液(0.02 mol/L, pH 6.8)中, 透析除盐, 得酶液。冷冻干燥后, 得到大豆内源性酶 Lox, 低温密封保存。使用前测定其酶活。

1.2.3 大豆蛋白的提取

大豆蛋白的制备参照 Huang 等^[9]的方法, 并有所改进。主要改进为先将大豆粉碎用正己烷脱脂 3 次后置于通风橱风干, 得到的脱脂豆粕再进行深度脱脂、灭酶, 最后将提取的蛋白沉淀溶解后, 在 7 500 r/min 下离心 30 min, 除去少量的不溶物, 将其蛋白溶液冷冻干燥后粉碎即得粉末状大豆蛋白。

1.2.4 大豆油的纯化

采用硅胶柱层析法对大豆油进行纯化制得甘油三酯^[10-11], 并进行改进。洗脱液为色谱纯正己烷-无水乙醚(体积比 95:5), 洗脱速度约 2 mL/min, 洗脱收集物挥发除去有机溶剂即为甘油三酯。利用薄层层析硅胶板(G)检测大豆油甘油三酯的纯化程度, 展开剂为石油醚(沸程 30~90 $^{\circ}\text{C}$)-乙醚-甲酸(98%)(体积比 87:13:1), 油样与正己烷按体积比 4:1 的比例稀释, 点样两遍, 要求点样浓度均匀。充分展开, 取出溶剂蒸发后碘缸染色。

1.2.5 HPLC-ELSD 检测甘油三酯及其产物

甘油三酯产物用无水乙醚萃取, 用色谱级正己烷溶解稀释到 0.3 mg/mL, 进样量 5 μL 。色谱条件: Lichrospher 硅胶柱(2.1 mm \times 250 mm); 流动相 A(正己烷-异丙醇, 体积比 99:1), 流动相 B(正己

烷-异丙醇-冰乙酸,体积比1:1:0.1),流速0.3 mL/min,梯度洗脱0 min、100% A,10 min、80% A,14 min、70% A,15 min、100% A,20 min、100% A;柱温35℃,ELSD温度50℃,洗脱液流速1.8 L/min,增益1。

1.2.6 豆浆风味模拟体系的构建

取4.5 mL 2%大豆蛋白溶液(一定量的大豆蛋白粉加水混匀)加入试管中,加入60 mg大豆甘油三酯,充分振荡至油滴均匀分散,高速剪切1 min,随后加入0.5 mL胰脂肪酶溶液和1 mL大豆Lox酶液,模拟体系的蛋白含量和大豆Lox酶、胰脂肪酶活性均与稀释后的豆浆一致。然后充分振荡至混合均匀,得到初步豆浆模拟反应体系。该体系选取的反应条件为:pH 6.8,温度40℃,时间30 min。

1.2.7 模拟体系中脂质氢过氧化物的测定

采用二甲酚橙法测定反应体系中脂质氢过氧化物含量^[12-13],并进行改进。豆浆反应体系同上。吸取0.3 mL反应溶液加入到4.0 mL二甲酚橙试剂中,加入0.2 mL水混匀,暗处反应45 min,4 000 r/min离心10 min,在最佳吸收波长560 nm进行吸光值测定,测定3次取平均值。二甲酚橙试剂必须为现配,以0~160 μmol过氧化氢溶液与二甲酚橙试剂显色测定做标准曲线进行脂质氢过氧化物定量,反应体系为4.5 mL。

1.2.8 挥发性风味物质的测定

挥发性风味物质的测定采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用(HS-SPME-GC-MS)^[14-15]。

HS-SPME条件:在20 mL萃取瓶中先放入转子,加入6 mL豆浆或豆浆模拟反应体系样品迅速旋紧盖子,用微量进样器穿透瓶塞加入1 μL的内标物(2-甲基-3-庚酮100 mg/kg),置于40℃水浴中,将老化的固相微萃取针插入样品瓶,边搅拌边顶空吸附,萃取时间30 min,搅拌速度300 r/min。

GC-MS条件:DB-WAX色谱柱(30 cm×0.25 mm,0.25 μm);升温程序为起始温度40℃,保持3 min,然后以6℃/min升温至100℃,再以10℃/min升温至230℃,保持7 min;不分流进样。EI离子源,离子源温度200℃,接口温度250℃,电子能量70 eV,扫描范围(m/z)33~350,采集方式Scan。

样品中测得的挥发性化合物由计算机检索,通过质谱数据库(NIST和WILEY数据库)检索结果与标准化合物进行对比,对匹配度大于800的挥发性物质进行定性。采用内标法进行定量,样品中挥发

性物质的萃取和测定均重复3次。

2 结果与分析

2.1 大豆油的纯化

薄层色谱中比移值(R_f)是指原点到斑点中心的距离与原点到溶剂前沿距离的比值。其大小与TLC板的材质和展开剂有关^[16]。利用TLC分离脂质、甘油三酯较好分离效果的 R_f 应在0.3~0.7,本实验中TLC分离图谱的 R_f 为0.52,说明分离效果较好,见图1。

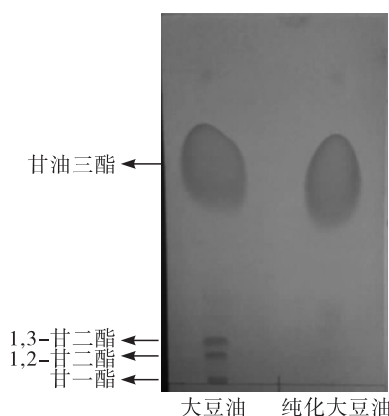


图1 大豆油和纯化大豆油的TLC分离图谱

由图1可知,大豆油中含有多种脂质成分,如甘油三酯、1,3-甘油二酯、1,2-甘油二酯,甘油一酯等;而纯化大豆油基本上是甘油三酯。这说明选用的硅胶柱层析法纯化大豆油的效果较好。

2.2 大豆油及其产物

利用高效液相色谱对大豆油及其产物进行检测,结果见图2。

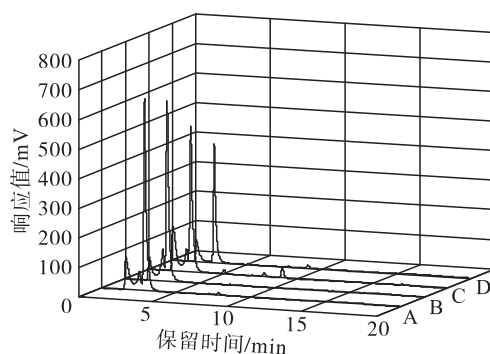


图2 大豆油(A)、甘油三酯(B)、甘油三酯水解产物(C)、甘油三酯水解和氧化产物(D)的液相色谱图

通过甘油三酯等标准曲线对照和图2可知,2.8 min的最大峰为甘油三酯,5 min的峰为游离脂肪酸,7.7 min的峰为1,3-甘油二酯,8.9 min的峰为1,2-甘油二酯。在所有的样品中,除了前面的烃类物质外,甘油三酯水解产物(C)曲线的峰最多,有4个显著峰,这说明甘油三酯经脂肪酶水解产生了多种产物,如游离脂肪酸、1,3-甘油二酯和1,2-甘油二酯

等。甘油三酯水解和氧化产物(D)的曲线有3个显著峰;大豆油(A)的曲线有2个显著峰,甘油三酯(B)只有1个显著峰。根据面积归一化定量法,上述4个样品。除A和B的甘油三酯的量相当外,C和D的甘油三酯的量逐渐减小,D的其他成分与C的相比也有大幅减小,这主要是被大豆 Lox 氧化降解引起的。

2.3 豆浆模拟体系中各组分的挥发性物质

大豆制品中的不良风味是酶促作用产物引起的结果,其中大豆脂肪氧合酶、大豆蛋白、大豆油、大豆油水解酶与该反应有着密切的关系^[8,17]。为了判断豆浆模拟体系各组分对该体系形成风味物质的影响,分别对其风味物质进行了测定,风味物质的种类和量如图3所示,其中最大峰为样标。

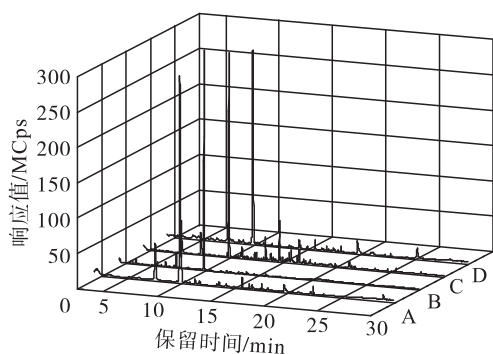


图3 脂肪氧合酶(A)、甘油三酯(B)、大豆蛋白(C)、胰脂肪酶(D)的气相色谱图

由图3可知,混合前大豆蛋白、甘油三酯、脂肪氧合酶和胰脂肪酶4种组分各自的挥发性物质含量

都较低。其中大豆蛋白的风味物质种类和量均高于其他,总量为14.87 mg/kg,其他的都在5 mg/kg以下。因此,在下面的豆浆模拟体系中,大豆脂肪氧合酶、大豆甘油三酯、胰脂肪酶自身的挥发性物质可忽略不计,大豆蛋白中的挥发性物质将被定量。

2.4 豆浆模拟体系中脂质氢过氧化物

按照1.2.7方法,以过氧化氢浓度(x)为横坐标,吸光值(y)为纵坐标绘制过氧化氢氧化标准曲线得到的线性方程为 $y = 0.0379x$,相关系数 $R^2 = 0.9993$,说明吸光值与过氧化氢浓度呈现良好的线性关系,本反应体系中脂质氢过氧化物生成量以过氧化氢的当量浓度表示。见表1。

表1 豆浆及模拟体系的脂质氢过氧化物含量

项目	Lox 氧化甘油三酯	Lox 氧化大豆油	豆浆模拟体系	豆浆
吸光值	0.010	0.018	0.132	0.249
氢过氧化物含量/(mmol/L H ₂ O ₂)	3.958	7.124	52.243	98.549

由表1可知,反应体系中氢过氧化物含量与Lox酶促作用底物有着密切的关系。大豆甘油三酯的氧化程度很有限,当其水解后酶促氧化大大增强。豆浆的氧化程度最大,这是因为豆浆的酶促氧化被不饱和脂肪酸、极性脂、多酚、金属离子等其他成分所增强^[18]。

2.5 豆浆模拟体系组分及其反应后的挥发性物质(见表2)

表2 HS-SPME-GC-MS分析豆浆、大豆蛋白、脂肪氧合酶氧化和模拟体系的主要风味物质成分

序号	挥发性物质	保留时间/min	含量/(mg/kg)				豆浆1	豆浆2	豆浆3
			大豆蛋白	Lox 氧化甘油三酯	Lox 氧化大豆油	模拟体系			
1	戊醛	4.9	0.42	3.59	7.50	22.35	11.47	12.62	12.53
2	1-戊烯-3-酮	5.8	0	0	1.33	14.56	4.55	4.96	4.61
3	2,3-戊二酮	6.7	0	0	0.55	0.57	3.22	3.48	3.08
4	己醛	7.2	10.64	28.36	58.62	413.56	631.89	642.66	630.96
5	反式-2-戊烯醛	8.3	0	0	0.53	17.58	17.67	22.04	20.74
6	庚醛	9.6	0	0	2.46	13.25	10.08	9.51	10.22
7	反式-2-己烯醛	10.0	0	2.06	1.68	10.35	71.47	81.37	78.04
8	正戊醇	10.5	0.18	0.26	0.87	7.63	16.02	15.56	16.83
9	2-戊基呋喃	10.7	0.17	0.23	0.66	13.22	1.49	1.33	1.26
10	辛醛	12.2	0.32	0.67	1.01	1.89	4.85	4.19	5.43
11	1-辛烯-3-酮	12.5	0	0.15	0.46	4.91	14.42	15.83	16.17
12	反式-2-庚烯醛	12.9	0	2.17	5.14	61.44	32.65	35.41	33.59
13	正己醇	13.8	0.30	0.53	3.08	12.05	294.18	321.76	317.71
14	壬醛	14.5	1.53	1.66	1.99	3.81	12.96	10.05	11.56
15	反式-2-辛烯醛	15.2	0.54	2.84	5.73	25.35	15.23	14.26	16.09

续表 2

序号	挥发性物质	保留时间/min	含量/(mg/kg)						
			大豆蛋白	Lox 氧化甘油三酯	Lox 氧化大豆油	模拟体系	豆浆 1	豆浆 2	豆浆 3
16	1-辛烯-3-醇	15.6	0.58	0.87	2.26	20.42	159.99	144.6	150.37
17	反,反-2,4-庚二烯醛	16.3	0	0	0.45	3.47	2.62	2.44	2.54
18	苯甲醛	16.8	0	0	0.67	5.53	2.21	1.66	1.75
19	反式-2-壬烯醛	17.0	0.19	0.23	0.38	2.09	5.48	4.66	4.35
20	反式-2-癸烯醛	18.5	0	0	0.25	4.09	4.52	3.99	4.42
21	反,反-2,4-壬二烯醛	19.2	0	0.18	0.36	1.11	0.56	0.54	0.52
22	反,反-2,4-癸二烯醛	19.8	0	0	0	9.19	0.30	0.26	0.33
	总量		14.87	43.80	95.98	668.42	1 317.83	1 353.18	1 343.10

由表 2 可知,大豆蛋白、Lox 氧化甘油三酯、Lox 氧化大豆油和豆浆模拟体系反应所产生的挥发性物质在数量上及总量上都存在明显的差异。豆浆模拟体系在合适条件下产生的大量挥发性风味物质,都属于豆浆主要的特征性风味物质^[19];其产生的量也远高于大豆油酶促反应产物和大豆蛋白自身含有挥发性化合物的量。这验证了脂肪酶的重要作用,也说明构建的豆浆风味物质生成的模拟体系是合适的,但其与豆浆风味的相似度还需要进一步的分析。Lox 催化氧化甘油三酯所生成的挥发性风味物质的种类和量都不及 Lox 催化氧化大豆油的,这说明 Lox 催化氧化甘油三酯的程度有限。这也佐证了完整大豆籽粒无显著豆腥味的原因为。

2.6 挥发性风味物质的主成分分析

豆浆及其模拟体系中含有 20 多种挥发性风味化合物,各种物质的量也存在着一定的差异,它们共同组成了豆浆特有的气味和口味。为了找到各风味物质对样品综合风味影响的代表性指标以及不同样品间风味的差异性。对同一批大豆随机抽取的 3 个样制成豆浆以及豆浆模拟体系的 22 种典型的风味化合物进行主成分分析,结果见表 3。

表 3 因子总方差解析结果

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	20.017	90.985	90.985
2	1.669	7.585	98.570
3	0.315	1.430	100.000
4	9.126E-16	4.148E-15	100.000
5	5.300E-16	2.409E-15	100.000

由表 3 可知,主成分 1 和主成分 2 的特征值分别为 20.017、1.669,累积贡献率达到 98.570%。豆浆和豆浆模拟体系的挥发性风味特点可认为由这两种主成分表示。根据主成分累积方差贡献率要求超过 85% 的原则,选取 2 个主成分因子进行分析^[20]。在主成分因子载荷矩阵中,变量与某一主成分关

联系数绝对值越大,则该变量与主成分关系越近,结果见表 4。

表 4 主成分因子载荷矩阵的关联系数

挥发性物质	关联系数	
	主成分 1	主成分 2
戊醛	-0.994	-0.088
1-戊烯-3-酮	-0.999	-0.036
2,3-戊二酮	0.991	-0.086
己醛	0.998	-0.041
反式-2-戊烯醛	0.578	-0.777
庚醛	-0.982	0.148
反式-2-己烯醛	0.993	-0.117
2-戊基咪喃	-1.000	0.009
正戊醇	0.994	0.054
辛醛	0.948	0.198
1-辛烯-3-酮	0.991	-0.099
反式-2-庚烯醛	-0.997	-0.083
正己醇	0.997	-0.072
壬醛	0.955	0.294
反式-2-辛烯醛	-0.988	0.088
1-辛烯-3-醇	0.995	0.094
反,反-2,4-庚二烯醛	-0.988	0.155
苯甲醛	-0.992	0.117
反式-2-壬烯醛	0.941	0.209
反式-2-癸烯醛	0.434	0.873
反,反-2,4-壬二烯醛	-0.999	0.024
反,反-2,4-癸二烯醛	-1.000	0.004

由表 4 可知,主成分 1 代表戊醛、1-戊烯-3-酮、2,3-戊二酮、己醛、庚醛、反式-2-己烯醛、2-戊基咪喃、正戊醇、辛醛、1-辛烯-3-酮、反式-2-庚烯醛、正己醇、壬醛、反式-2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇、反,反-2,4-庚二烯醛、苯甲醛、反式-2-壬烯醛、反,反-2,4-壬二烯醛、反,反-2,4-癸二烯醛 20 种风味物质的影响较大。主成分 2 代表反式-2-戊烯醛、反式-2-癸烯醛 2 种风味物质的影响较大。

对4种样品的主成分做主成分1与主成分2得分图,结果见图4。

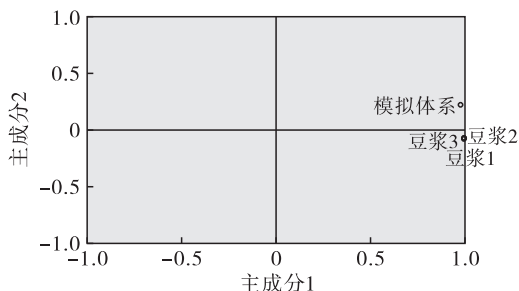


图4 主成分1和主成分2的主成分分析得分图

由图4可知,豆浆1、豆浆2、豆浆3和豆浆模拟体系主成分1的得分系数分别为0.994、0.992、0.992、0.966,豆浆1、豆浆2、豆浆3和豆浆模拟体系主成分2的得分系数绝对值分别为0.067、0.071、0.079、0.222。针对主成分1,豆浆1、豆浆2、豆浆3和豆浆模拟体系高度相近;针对主成分2,豆浆1、豆浆2、豆浆3和豆浆模拟体系基本相近。4个样品集中在相近的一定区域,这表明豆浆模拟体系的挥发性风味与豆浆的具有较好的相似性。

3 结论

从TLC分离图谱和液相图谱可知,甘油三酯纯化效果较好,消除了反应体系中底物的干扰影响。该反应体系中大豆Lox催化氧化甘油三酯的程度很小,甘油三酯被水解后的氧化程度大大增加,并且脂质氧化程度和生成的挥发性风味物质变化趋势一致。这也证实了脂肪酶在豆浆等豆制品挥发性风味形成中具有不可或缺的作用。大豆蛋白、大豆甘油三酯、大豆脂肪氧合酶和胰脂肪酶等组分组成的豆浆模拟体系,在一定反应条件下产生了大量大豆特征性风味化合物,通过主成分分析判断,这种模拟反应体系的风味组成与豆浆具有很好的相似性。

参考文献:

- [1] KANTHAMANI S, NELSON A I, STEINBERG M P. Home preparation of soymilk: a new concept. Whole soybean foods for home and village use[J]. *Intsoy*, 1978, 14(5): 5-9.
- [2] KWOK K, NIRANJAN K. Review: effect of thermal processing on soymilk[J]. *Int J Food Sci Technol*, 1995(30): 263-295.
- [3] KING J M, CHIN S M, SVENDSEN L K, et al. Processing of lipoxygenase-free soybeans and evaluation in foods[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2001(78): 353-360.
- [4] MORR C V, HAE Y W. Processing to prevent formation of off-flavors in soy products[J]. *Comments Agric Food Chem*, 1991(2): 247-260.
- [5] ANDRE E, HOU K W. The presence of a lipid oxidase in soybean[J]. *Lieb C R Acad Sci*, 1932(194): 645-647.
- [6] ZHUANG H, HILDEBRAND D F, ANDERSEN R A, et al. Effects of polyunsaturated free fatty acids and esterified linoleoyl derivatives on oxygen consumption and C6 aldehyde formation with soybean seed homogenates[J]. *J Agric Food Chem*, 1991, 39(8): 1357-1364.
- [7] HA E Y W, MORR C V, SEO A. Isoflavone aglucons and volatile organic compounds in soybeans; effects of soaking treatments[J]. *J Food Sci*, 1992(57): 414-417.
- [8] AXELROD B, CHEESBROUGH T M, LAAKSO S, et al. Lipoxygenase from soybeans[J]. *Meth Enzymol*, 1981(71): 441-451.
- [9] HUANG Y R, HUA Y F, QIU A Y. Soybean protein aggregation induced by lipoxygenase catalyzed linoleic acid oxidation[J]. *Food Res Int*, 2006, 39(2): 240-249.
- [10] QUINLIN P, WEISER H J. Separation and determination on mono-, di-, and triacylglycerol in monoglyceride concentrates[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1958(35): 325-327.
- [11] MATTSON F H, VOLPENHEIN R A. The use of pancreatic lipase for determining the distribution of fatty acids in partial and complete glycerides[J]. *J Lipid Res*, 1961(2): 58-62.
- [12] MIZUTANI T, HASHIMOTO H. Effect of grinding temperature on hydroperoxide and off-flavor contents during soymilk manufacturing process[J]. *J Food Sci*, 2004, 69(3): 112-116.
- [13] WOLFF S P. Ferrous ion oxidation in presence of ferric ion indicator xylenol orange for measurement of hydroperoxides[J]. *Method Enzymol*, 1994, 233(18): 182-184.
- [14] 芦鑫, 张丽霞, 王奕芳, 等. 不同品种花生乳挥发性组分分析[J]. *中国油脂*, 2018, 43(5): 139-144.
- [15] 张瑶, 张沙沙, 王承明. 花生粕酿酒工艺及花生发酵酒风味物质和营养成分分析[J]. *中国油脂*, 2016, 41(11): 100-144.
- [16] KHAN M, WILLIAMS J P. An improved TLC method for the separation of major phospholipids and glycolipids from plant extracts and phosphatidylglycerol and bis-(monoacylglycerol)phosphate from animal lipid extracts[J]. *J Chromatop*, 1977, 140: 179-185.
- [17] YUAN S H, CHANG S K C. Selected odor compounds in soymilk as affected by chemical composition and lipoxygenases in five soybean materials[J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(2): 426-431.
- [18] TRIPATHI M K, MANGARAJ S, MANOJ K, et al. Effect of processing condition on the quality and beany flavour of soymilk[J]. *Curr Sci*, 2015, 109(9): 1164-1170.
- [19] LÜ Y C, SONG H L, LI X, et al. Influence of blanching and grinding process with hot water on beany and non-beany flavor in soymilk[J]. *J Food Sci*, 2011, 76(1): 20-25.
- [20] NOBLE A C, EBELER S E. Use of multivariate statistics in understanding wine flavor[J]. *Food Rev Int*, 2002, 18(1): 1-21.