

模拟体系制备豆浆及其风味研究

孙灵湘,叶挺,华欲飞,孔祥珍

(江南大学食品学院,江苏无锡214122)

**摘要:**将大豆蛋白、大豆脂质、大豆内源性酶和大豆多酚4种组分按照豆浆中比例以一定方法混合剪切后得到乳液体系。在不同正交反应条件下利用HS-SPME-GC-MS测定模拟体系产生的风味物质含量,确定了pH7.0,40℃下反应30 min是模拟体系中脂肪氧合酶催化氧化作用产生风味化合物的适宜反应条件。该反应条件下模拟体系产生了大量豆浆的特征性风味物质,通过主成分分析法(PCA)与豆浆的风味组成进行比较,证实该大豆风味模拟乳液体系与豆浆特征性风味具有很好的相似性。感官评定进一步表明,模拟体系具备了豆浆的特征性风味,但在逼真度、大豆香味等方面存在少许差异。

**关键词:**豆浆风味模拟体系;脂肪氧合酶;主成分分析;GC-MS

**中图分类号:**TS214      **文献标识码:**A      **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2015.04.0679

The Construction of Soymilk Model System and the Study of Its Flavors

SUN Ling-xiang, YE Ting, HUA Yu-fei, KONG Xiang-zhen

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** The soybean protein, lipids, endogenous enzymes and polyphenols are mixed to be a emulsion system by a certain method. Under different orthogonal reaction conditions, volatiles of simulation system are determined by HS-SPME-GC-MS, and the optimal reaction conditions for catalytic oxidation of lipoxygenases to produce flavor compounds in simulation system was pH7.0, 40℃, 30 min. Model system under this reaction conditions produced a large amount of characteristic soybean flavors, and confirmed that the soybean emulsion flavor simulation system had good comparability with soymilk through the principal component analysis (PCA) of the composition of flavors. Sensory evaluation showed that the model system possessed characteristic soymilk flavor, but there were some differences in their fidelity, soybean aroma and so on.

**Keywords:** Model system; LOX; Soymilk flavor; PCA; GC-MS

大豆经过浸泡、冷水磨浆、浆渣分离等工序制成豆浆,它是深受消费者喜爱的传统植物蛋白饮料。豆浆中蛋白质含量丰富,氨基酸组成与人体所必须氨基酸组成相似,同时还含有丰富的维生素,不含胆固醇,具有很高的营养价值<sup>[1]</sup>,但是豆浆的不良气味是很多消费者难以接受的,也是进一步扩宽大豆制品市场必须要解决的问题。豆浆中最具有代表性的风味物质包括戊醛、己醛、庚醛、(E)-2-己醛、1-辛烯-3-醇、己醇、1-戊醇、甲苯、(E)、(E)-2,4-癸二烯醛、(E)-2-辛烯醛、壬醛、(E)-2-庚烯醛等,组合起来即表现出豆浆的特征性风味<sup>[2-4]</sup>。豆浆中风味物质的主要来源是大豆中酯化及游离的不饱和脂肪酸经脂肪氧合酶(LOX)催化氧化,形成氢过氧化物,然后在氢过氧化物酶(POD)的作用下,进一步氧化,形成上述的醛类、酮类、醇类等风味物质<sup>[5-6]</sup>。同时,大豆中还存在着多种抗氧化物质对于LOX催化反应有重要影响,其中大豆多酚较具有代表性。这是因为大豆多酚对于LOX催化氧化反

应具有作用于LOX酶活性位点的铁离子、清除自由基等抗氧化作用以及形成苯氧基或醌类物质抑制LOX氧化的双重复杂作用<sup>[7-8]</sup>。此外,大豆蛋白作为大豆中主要组分之一,本身不产生风味物质,但其能够结合风味物质,从而影响大豆产品的风味表现。综上,大豆蛋白、大豆脂质、大豆多酚、大豆脂肪氧合酶和氢过氧化物酶都与大豆中风味物质产生密切相关<sup>[9]</sup>。一直以来,大豆及豆浆风味的研究多数是利用传统大豆破碎打浆进行,但通过这种方式对于LOX催化氧化反应的作用机制、影响因素这些重要问题的研究比较局限,并且通过传统豆浆形式进行豆浆体系中蛋白质对于风味物质吸附动态平衡的研究也难以实现。

本研究从大豆中分离提取出与大豆风味的产生密切相关的组分,再按照豆浆中各组分的比例,通过一定的混合方法和反应条件,确定模拟体系的最适反应条件使LOX催化氧化反应充分进行,产生豆浆的特征性风味物质并对其进行风味物质鉴定,

收稿日期:2014-12-11  
基金项目:国家高技术发展研究计划“863计划”(2013AA102204)。  
第一作者简介:孙灵湘(1991-),女,硕士,主要从事大豆蛋白豆腥味研究。E-mail:xiang0376@foxmail.com。  
通讯作者:华欲飞(1962-),男,教授,主要从事粮食、油脂与植物蛋白工程研究。E-mail:yfhua@jiangnan.edu.cn。

得到一种与豆浆风味物质十分类似的模拟乳液体系,为未来利用模拟体系的形式进一步明确大豆及豆浆风味产生机理和进行豆浆体系挥发性风味物质动态平衡的研究提供了一种新思路,为更好地解决豆浆的豆腥味问题奠定基础。此外,这种乳液体系不含有化学乳化成分,以大豆蛋白作为乳化剂,避免了在模拟体系中引入乳化剂的挥发性化学成分而影响风味物质的鉴定。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

非转基因大豆(无锡欧尚超市);醇洗大豆蛋白(实验室自制);大豆油(吉林省宝孚食品有限公司);2-甲基-3-庚酮标准物(西格玛-奥德里奇公司);MJ-60BE01B型豆浆机(美的公司);Himac CR21G II型冷冻离心机(日本日立公司);冷冻干燥机(LGJ-18,北京四环科学仪器厂);T10高速剪切机(德国IKA公司);萃取头(DVB/CAR/PDMS-50/30  $\mu\text{m}$ )及萃取装置(美国Supelco公司);气质联用仪(SCIONSQ-456-GC,美国bruker公司)。

### 1.2 方法

1.2.1 大豆内源性酶提取方法 参考陈书婷等<sup>[10]</sup>的方法,并加以改进。采用去离子水浸泡大豆12 h后,倒掉水,按照1:6料液比向盛大豆的烧杯中加入0.1 mol·L<sup>-1</sup>, pH4.5 醋酸钠缓冲液,打浆后调节pH至4.5,搅拌1 h。用4层纱布过滤之后,离心后取上层清液(30 min, 9 800 r·min<sup>-1</sup>),再用5 mol·L<sup>-1</sup> NaOH将上清液pH调至6.8,随后缓慢加硫酸铵粉末至80%,搅拌1 h后离心,取沉淀。沉淀溶于磷酸盐溶液(0.02 mol·L<sup>-1</sup>, pH6.8)中,透析除盐,得酶液。冷冻干燥后,得到大豆内源性酶,低温密封保存。使用前测定其中的LOX和POD的酶活。

1.2.2 大豆多酚提取方法 将大豆粉碎后,按照1:13料液比加入80%乙醇-水溶液,在避光、充氮条件下,低速搅拌30 min,用4层纱布过滤,所得滤液5 000 r·min<sup>-1</sup>下离心30 min,取上清液真空浓缩(60℃, 0.09 MPa),得多酚粗提液,测定多酚浓度后,充氮密封冻藏<sup>[11]</sup>。

1.2.3 豆浆制备方法 大豆洗净后,按料液比1:10加水浸泡18 h后,用豆浆机打浆3 min后,使用8层纱布过滤,得到豆浆。通过凯氏定氮法确定豆浆中蛋白浓度,然后加水稀释至2%。

1.2.4 豆浆模拟体系制备方法 取4 mL 3%的醇洗大豆蛋白溶液加入试管中,再加入60 mg大豆油,充分振荡至油滴均匀分散,再剪切1 min,随后加入

1 mL 0.162 mg·mL<sup>-1</sup>的大豆多酚溶液,振荡后加入1 mL的酶液(其中LOX酶活为1.42 × 10<sup>6</sup> U·mL<sup>-1</sup>, POD酶活为4.32 × 10<sup>5</sup> U·mL<sup>-1</sup>),模拟体系的多酚浓度和LOX酶、POD酶活性均与稀释后的豆浆一致。然后充分振荡至混合均匀,得到初步混合的豆浆模拟乳液反应体系。

脂肪氧合酶的活性在pH6.0 ~ 10.0范围内都较高,氢过氧化物酶的活性在pH6.0 ~ 7.5范围内较高,并且真实的豆浆体系pH一般在6.5 ~ 7.0,因而最终模拟体系的pH选定为6.0 ~ 7.0<sup>[12]</sup>。脂肪氧合酶在40℃以下都具有很高的酶活,氢过氧化物酶在25 ~ 40℃活性较高,因而反应温度选定为30 ~ 40℃。取5 mL样品置于10 mL萃取瓶中,放入转子,迅速旋紧盖子,置于30 ~ 40℃水浴中,以600 r·min<sup>-1</sup>搅拌使模拟体系充分反应20 ~ 40 min,以正交试验方法确定最佳的模拟体系反应条件。

1.2.5 HS-SPME-GC-MS HS-SPME条件:向含有5 mL样品的10 mL萃取瓶中加入1  $\mu\text{L}$ 的内标物(2-甲基-3-庚酮250  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ),迅速旋紧盖子,置于已经预先设定好温度的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600 r·min<sup>-1</sup>。首次使用前,萃取头于250℃老化1 h。

GC-MS条件:采用DB-WAX色谱柱(30 m × 0.25 mm, 0.25  $\mu\text{m}$ )。升温程序:起始温度40℃,保持3 min;以6℃·min<sup>-1</sup>升温至100℃;然后以10℃·min<sup>-1</sup>升温至230℃,保持7 min;不分流进样。质谱条件:离子源EI源,离子源温度200℃,接口温度250℃,电子能量70 eV,扫描范围m/z为33 ~ 350,采集方式Scan。

风味物质的定性及定量分析:通过计算机检索样品中测得的挥发性化合物,将质谱数据库(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,利用2-甲基-3-庚酮作为内标标准物质,根据被测化合物和内标物的色谱峰面积之比,按照 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 计算被测组分的含量。样品中挥发性物质的萃取和测定均重复3次。

1.2.6 感官评定 将模拟体系与豆浆样品3位数编码后,以5分评分制进行感官评价。30名经过感官评价的感官评价员分别对样品的大豆香味、豆腥味、苦涩味、逼真度、持续性以及整体接受性进行评分。然后将测试样品的编号随机改变,重复进行3次评价,得到最终评分。

2 结果与分析

2.1 模拟体系反应条件的正交试验

根据表 1 中 R 值大小可以看出,三因素对反应影响程度为 pH > 时间 > 温度。根据表 1 中 K 值大小初步判断,最适合的反应条件为 A<sub>2</sub>B<sub>3</sub>C<sub>3</sub>,即时间 35 min,温度 40℃,pH7.0。方差分析结果表明,模拟反应体系的 pH 在不同水平下存在显著性差异( $F > F_{0.1}$ ),而时间、温度两种因素在 3 种不同的试验水平下均无显著性差异( $F < F_{0.1}$ ),说明模拟反应体系在 pH7.0 条件下模拟体系产生的挥发性物质总

量较大,而在 30 ~ 40℃、20 ~ 40 min 的范围内,其产生的挥发性物质总量没有显著性差异。顶空固相微萃取一般需要大于 40℃,为了保持体系在反应阶段和顶空固相微萃取阶段的反应条件一致,避免样品反应阶段和顶空萃取阶段的温度波动破坏体系的挥发性风味物质平衡状态,因而最终采取的体系反应条件是温度 40℃,时间 30 min,pH7.0。对理论最佳反应条件组合(时间 35 min,温度 40℃,pH7.0)和最终采用的体系反应条件(时间 30 min,温度 40℃,pH7.0)进行比较验证,证实模拟反应体系在两种反应条件下所产生的挥发性物质总量没有显著性差异。

表 1 模拟体系反应条件的正交试验结果

Table 1 The orthogonal experimental results of model system reaction conditions					
实验序号 Test No.	因素 Factor				挥发性物质总量 Total volatiles/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$
	A 温度 Temperature/ $^{\circ}\text{C}$	B 时间 Time/min	C pH	D 空列 Blank	
1	1 (30)	1 (20)	1 (6.0)	1	640.38
2	1	2 (30)	2 (6.5)	2	692.25
3	1	3 (40)	3 (7.0)	3	725.71
4	2 (35)	1	2	3	673.33
5	2	2	3	1	749.62
6	2	3	1	2	671.87
7	3 (40)	1	3	2	715.98
8	3	2	1	3	662.22
9	3	3	2	1	712.72
K1	686.11	676.56	658.16	700.91	
K2	698.27	701.36	692.77	693.37	
K3	696.97	703.43	730.44	687.08	
R	12.16	26.87	72.28	13.82	

表 2 方差分析

Table 2 The variance analysis					
因素 Factor	偏差平方和 SS	自由度 df	F 值 F value	$F_{0.05}/F_{0.1}$	显著性 Significance
温度 Temperature/ $^{\circ}\text{C}$	267.50	2	0.11	$F_{0.05} = 4.46$	—
时间 Time/min	1341.32	2	0.55	$F_{0.05} = 4.46$	—
pH	7841.28	2	3.22	$F_{0.1} = 3.11$	*
误差 Error	9737.38	8			

\* 表示有显著性差异( $P < 0.1$ ,其中  $F_{0.05} = 4.46$ ,  $F_{0.1} = 3.11$ )。

\* Significant within a 90% confidence interval.

2.2 混合前各组分及模拟体系反应后的挥发性物质

目前公认的是,LOX 催化氧化反应是大豆体系中风味化合物的主要来源,大豆蛋白、大豆内源酶、大豆油、大豆多酚与 LOX 催化氧化反应密切相关<sup>[5,9]</sup>,从大豆体系中分离出上述几种组分,它们的挥发性风味物质含量如图 1 所示。图 1 表明,混合

前,大豆蛋白、脂质、内源酶和多酚 4 种组分各自的挥发性物质含量都很低。与大豆蛋白相比,大豆内源酶、大豆油、大豆多酚的挥发性风味物质含量明显低很多,响应强度均在 2M 以下。因此,在接下来的模拟体系中,大豆内源酶、大豆油、大豆多酚自身的挥发性成分忽略不计,大豆蛋白中的挥发性成分将被定量。

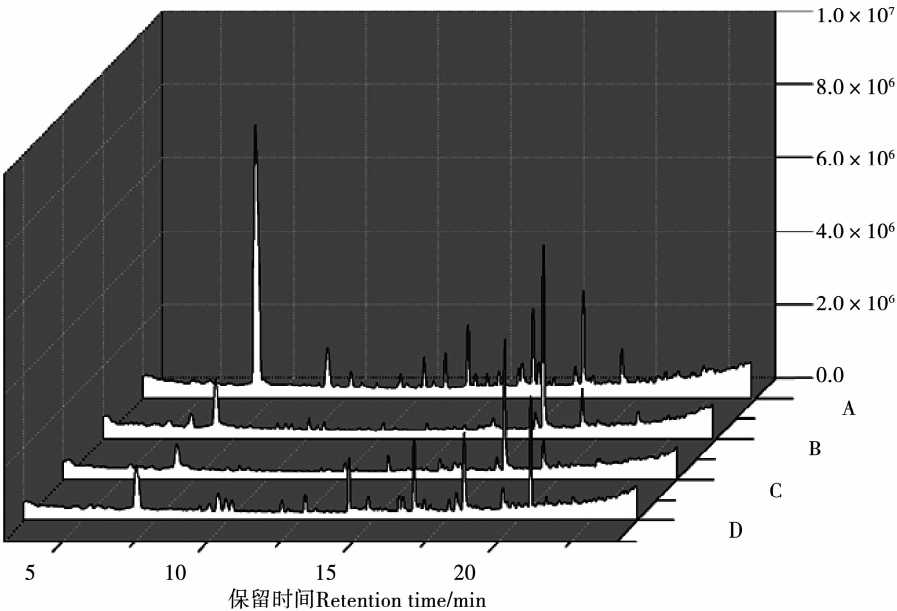


图1 大豆蛋白(A)、大豆脂质(B)、大豆内源性酶(C)、大豆多酚(D)的气相色谱图

Fig.1 Gas chromatogram of soybean protein(A) , lipids(B) , endogenous enzymes( C) and polyphenols(D)

表3 显示,经过一定方法混合而成的模拟反应体系在合适的反应条件下,产生了大量的挥发性风味物质,这些物质都是豆浆中主要种类的特征性风味物质。从产生的量来看,模拟体系的风味物质明

显高于大豆蛋白原本含有还有的挥发性化合物含量,这说明模拟体系通过脂肪氧合酶反应新产生了大量风味物质,因而模拟反应体系是具有活性的。但是其与豆浆风味的相似度需要进一步的分析。

表3 HS-SPME-GC-MS 分析大豆蛋白、模拟体系的主要风味物质成分

Table 3 HS-SPME-GC-MS analysis of major flavors of soybean protein and model system

挥发性物质	保留时间	大豆蛋白	模拟体系	气味/风味阈值
Volatile substance	Retention time/min	Soy protein/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Model/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Flavor/Ordor threshold
戊醛 Pentanal	4.2	0	16.12	12~42/31
己醛 Hexanal	6.3	11.78	437.68	4.5~5.0/16~76
己烯 Heptanal	8.6	0	5.85	42084
反式-2-己醛 (E)-2-Hexenal	9.4	1.70	26.35	17/
2-戊基呋喃 2-pentyl-Furan	9.8	0.43	1.47	6/
正戊醇 1-Pentanol	10.4	0.52	2.99	
辛醛 Octanal	11.2	0	2.37	0.7/5~45
1-辛烯-3-酮 1-Octen-3-one	11.5	0.18	5.51	0.005/0.1
反式-2-庚烯醛 (E)-2-Heptenal	11.9	0	18.16	13/80
正己醇 1-Hexanol	12.8	1.38	112.22	2500/
壬醛 Nonanal	13.6	1.44	5.32	1/6~12
反式-2-辛烯醛 (E)-2-Octenal	14.2	0.46	4.12	3/90
乙酸 Acetic acid	14.6	0.24	0.34	/22000
1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	14.8	1.52	71.82	1/
反,反-2,4-庚二烯 (E,E)-2,4-Heptadienal	15.4	0	4.97	
甲苯 Benzaldehyde	15.8	1.18	3.71	350~3500/1500
反式-2-壬烯醛 (E)-2-Nonenal	16.1	0.14	1.02	0.08~0.1/6
反式-2-癸烯醛 (E)-2-Decenal	17.7	0	4.58	0.3~0.4/230
反,反-2,4-壬二烯醛 (E,E)-2,4-Nonadienal	18.4	0	0.18	0.09/
反,反-2,4-癸二烯醛 (E,E)-2,4-Decadienal	19.2	0	1.30	0.07/
总量 Sum		20.97	726.08	

2.3 主成分分析对模拟体系与豆浆的风味相似性的评价

豆浆及模拟体系中含有大量的风味化合物,这些物质共同组成了豆浆特有的气味和口味,但是

GC-MS 检测出的风味物质种类繁多,难以确定各风味组分对样品综合风味的影响以及不同样品间风味的差异性。主成分分析考察多个变量间相关性,通过少数几个主成分因子作为综合指标来揭示样

本中多个变量的内部结构,并根据主成分因子在不同样本中贡献率的大小,对样本间的规律性和差异性进行评价<sup>[13-14]</sup>,因此,采用主成分分析法对样品相似性进行评价。

对6种不同品种的大豆制成的豆浆以及模拟体系的进行气相色谱-质谱分析,选取20种代表性的风味化合物作为变量进行主成分分析,得到6个主成分因子(表4)。主成分因子载荷矩阵(表5)显示出20种变量对3种主成分的贡献率。根据主成分累计方差贡献率要求超过85%的原则,前三类主成分(特征值大于1)累积贡献率达89.192%(表4),因此选取3个主成分因子进行进一步分析<sup>[15-16]</sup>。

表5 主成分因子载荷矩阵

Table 5 Loading matrix of the principal component factors

成分 Ingredient	组分 Component			
	1	2	3	4
戊醛 Pentanal	-0.393	0.746	0.498	0.072
己醛 Hexanal	0.787	-0.595	0.072	0.143
己烯 Heptanal	0.722	-0.555	0.213	0.211
反式-2-己醛 (E)-2-Hexenal	0.876	0.414	-0.185	-0.025
2-戊基呋喃 2-pentyl-Furan	0.634	-0.744	-0.011	-0.199
正戊醇 1-Pentanol	0.892	0.358	0.144	-0.132
辛醛 Octanal	0.872	0.409	0.078	-0.190
1-辛烯-3-酮 1-Octen-3-one	0.947	0.252	-0.004	-0.043
反式-2-庚烯醛 (E)-2-Heptenal	0.841	-0.527	0.033	0.075
正己醇 1-Hexanol	0.825	-0.144	-0.208	-0.185
壬醛 Nonanal	0.896	-0.013	0.065	-0.268
反式-2-辛烯醛 (E)-2-Octenal	0.904	0.383	0.042	-0.073
乙酸 Acetic acid	0.766	0.566	-0.016	0.293
1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	0.658	-0.714	0.060	0.195
反,反-2,4-庚二烯(E,E)-2,4-Heptadienal	0.308	0.359	-0.712	0.479
甲苯 Benzaldehyde	0.607	-0.311	0.426	0.180
反式-2-壬烯醛 (E)-2-Nonenal	0.821	0.557	0.064	0.066
反式-2-癸烯醛 (E)-2-Decenal	0.931	-0.200	-0.171	0.205
反,反-2,4-壬二烯醛 (E,E)-2,4-Nonadienal	0.751	0.087	-0.273	-0.514
反,反-2,4-癸二烯醛 (E,E)-2,4-Decadienal	0.811	0.447	0.316	0.202

对7种样品的主成分标准系数做因子1与因子2得分图(图2)、因子1与因子3得分图(图3),图2和图3中模拟体系(M)的风味与6种豆浆(1~6)的得分离散性显示,全部样品均集中在一定区域内,这表明模拟体系的风味与豆浆具有较好的相似性,模拟的乳液反应体系通过LOX催化氧化反应产生了大量风味物质,具有典型的豆浆风味特征。

2.4 感官评定

为了进一步研究真实豆浆与模拟体系的风味差异性,对二者的感官属性进行评价,结果如图4所示。综合来看,模拟体系已经具备了典型的豆浆风味,并能被评价者所接受。与真实豆浆相比,模拟体系的大豆香味、苦涩味、逼真度较弱,持续性、豆腥味、整体接受度与豆浆比较接近。这种差异是因为,大豆中风味物质虽然绝大多数来源于LOX催化

表4 主成分分析中各主成分的特征值与方差贡献  
Table 4 PCA of the characteristic value and variance contribution of principal components

	特征值 Total	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	12.168	60.840	60.840
2	4.360	21.798	82.638
3	1.311	6.554	89.192
4	1.020	5.102	94.294
5	0.806	4.028	98.322
6	0.336	1.678	100.000

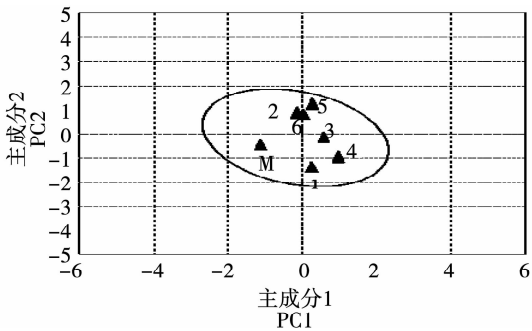


图2 因子1和因子2得分图

Fig. 2 Score figure of the factor 1 and factor 2

氧化,但是仍然存在其它方式的风味物质产生途径。Kobayashi等和Ma等都发现在LOX全缺失的大豆,依然能够产生豆腥味物质,比如C<sub>8</sub>类的醇以及C<sub>9</sub>,C<sub>10</sub>类的羰基化合物,其产生途径包括脂质自动氧化以及大豆中的其它反应,这些反应十分复

杂,还有待进一步明确<sup>[17-18]</sup>。

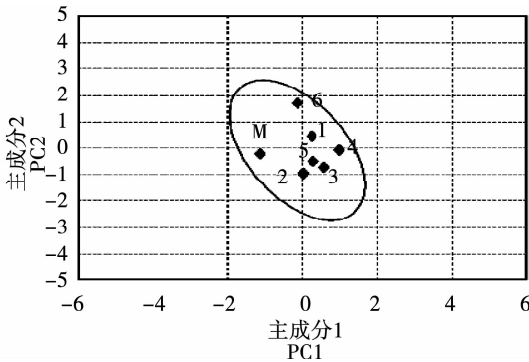


图3 因子1和因子3得分图

Fig. 3 Score figure of the factor 1 and factor 3

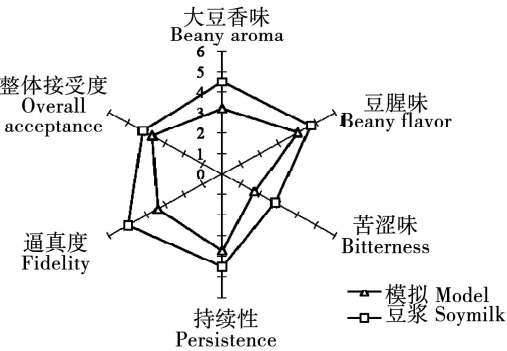


图4 模型体系与豆浆的感官评价

Fig. 4 The sensory evaluation of soybean model system and soymilk

3 结 论

通过将大豆蛋白、大豆脂质、大豆内源酶、大豆多酚混合并剪切得到豆浆模拟乳液体系,GC-MS 结果表明,混合后的反应体系在 pH7.0,温度 40℃ 下反应 30 min,脂肪氧合酶催化氧化反应产生了大量大豆特征性风味化合物,采用主成分分析法表明,这种模拟反应体系的风味组成与豆浆具有很好的相似性。感官评价结果表明,模拟体系具备豆浆特征性风味,但在大豆香味、苦涩味、逼真度等方面较弱。

参考文献

[1] Liu K S. 大豆功能食品与配料[M]. 北京: 中国轻工业出版社,2009:62-63. (Liu K S. Functional food and ingredients of soybean[M]. Beijing: Chinese Light Industry Press, 2009:62-63. )  
[2] Rackis J J, Honig D H, Sessa D J, et al. Flavor and flatulence factors in soybean protein products [J]. Journal of Agricultural Food and Chemistry, 1977,18(6):977-982.  
[3] Lyu 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]. Journal of Food Science, 2011,76(1):20-25.  
[4] Wolf W J. Lipoygenase and flavor of soybean protein products [J]. Journal of Agricultural Food and Chemistry, 1975, 23(2):

136-141.  
[5] Axelrod B, Cheesbrough M T, Laakso S, et al. Lipoygenase from soybeans[J]. Methods in Enzymology, 1981,71:441-451.  
[6] Nathan Mellor, Frances Bligh, Ian Chandler, et al. Reduction of off-flavor generation in soybean homogenates: A mathematical model [J]. Journal of Food Science, 2010,75(7):131-138.  
[7] Dwiecki K, Siger A, Czubin'ski J, et al. The interactions between rapeseed lipoygenase and native polyphenolic compounds in a model system[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2012,89:379-387.  
[8] Zadernowski R, Nowak-Polakowska H, Amarowicz R. Phenolic compounds of rapeseed as factors protecting lipids against hydrolytic and oxidative changes[J]. Oilseed Crops, 1998,19:563-572.  
[9] Yuan S H, Chang S K C. Selected odor compounds in soymilk as affected by chemical composition and lipoygenases in five soybean materials[J]. Journal of Agricultural Food and Chemistry, 2007, 55(2):426-431.  
[10] 陈书婷, 孔祥珍, 华欲飞, 等. 大豆脂肪氧合酶的分离纯化及其性质研究[J]. 食品工业科技,2011,32(5):176-182. (Chen S T, Kong X Z, Hua Y F, et al. Study on purification and some properties of soybean lipoygenase[J]. Science and Technolog of Food Industry, 2011,32(5):176-182. )  
[11] 曾献, 袁英姿, 曹清明, 等. 油茶籽多酚的提取研究[J]. 食品与机械, 2008,24(4):69-72. (Zeng X, Yuan Y Z, Cao Q M. Study on extraction of polyphenols from seed of camellia oliefera [J]. Food and Machinery, 2008,24(4):69-72. )  
[12] Zhuang H, Hildebrand D F, Andersen R A. Effects of polyunsaturated free fatty acids and esterified linoleoyl derivatives on oxygen consumption and C6 aldehyde formation with soybean seed homogenates[J]. Journal of Agricultural Food and Chemistry, 1991, 39(8):1357-1364.  
[13] 刘建波, 赵德义, 曹建全, 等. 多变量统计分析技术在芝麻香型白酒科研生产中的应用初探[J]. 酿酒, 2008,35(1):31-33. (Liu J B, Zhao D Y, Cao J Q, et al. The application of multivariate statistic analysis on the production of sesame flavour Chinese spirits[J]. Liquor Making, 2008,35(1):31-33. )  
[14] 林智平, 崔巍伟, 王憬, 等. 多变量统计分析技术在评价啤酒风味质量中的应用[J]. 啤酒科技, 2005(3):1-16. (Lin Z P, Cui W W, Wang J, et al. Application of multivariate statistical analysis in the research on beer flavor quality[J]. Beer Science and Technology, 2005(3):1-16. )  
[15] Noble A C, Ebeler S E. Use of multivariate statistics in understanding wine flavor[J]. Food Reviews International, 2002,18(1):1-21.  
[16] 尹建军, 饶静. 多变量溶剂分析技术在白酒风味特征研究中的应用[J]. 酿酒科技,2010(11):57-59. (Yin J J, Rao J. Application of multivariate statistical analysis in the research on liquor flavor characteristics[J]. Liquor Making Science and Technology, 2010(11):57-59. )  
[17] Kobayashi A, Tsuda Y, Hirata N, et al. Aroma constituents of soybean milk lacking lipoygenase isozymes[J]. Journal of Agricultural Food and Chemistry, 1995,43: 2449-2452.  
[18] Ma H, Guan C Y, He X L, et al. Effects of lipoygenase nullgenes of soybean in controlling beany-flavor of soymilk and soymilk [J]. Agricultural Sciences in China, 2002,1(9):965-971.