

基于GC-MS及PCA对比15种奶酪的有机酸成分

赵赞¹, 夏亚男^{2*}, 刘皓², 双全²

(1. 邯郸职业技术学院 食品与生物工程系, 河北 邯郸 056000; 2. 内蒙古农业大学 食品科学与工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010000)

摘要:为明确不同加工工艺对奶酪有机酸物质的影响,该试验采用液液萃取-气相色谱-质谱联用技术(Liquid liquid extraction-gas chromatography-mass spectrometer, LLE-GC-MS)研究传统奶豆腐、西式奶酪及再制奶酪共15种奶酪有机酸成分的差异。结果显示:传统奶豆腐制作过程中基本不添加其它物质且未经过成熟工序,有机酸成分较少且含量不高,主要有机酸包括乙酸、己酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、壬酸、9-癸烯酸;西式奶酪制作过程中会添加高脂肪物质,经过成熟处理,有机酸成分明显增加,主要有机酸包括己酸、辛酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、壬酸、9-癸烯酸;再制奶酪因原料包括成品奶酪及其它营养物质,其有机酸成分三类奶酪中最的一类,主要有机酸包括苯甲酸、丁酸、己酸、辛酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、十八酸、十五酸、9-癸烯酸、9-十六碳烯酸。三类奶酪都含有己酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、9-癸烯酸,其中双碳酸较多。主成分分析可用于区分传统奶豆腐及再制奶酪,对不同工艺西式奶酪的区分并不理想。

关键词:奶酪;气相色谱-质谱联用;内标定量法;有机酸;主成分分析(PCA);偏最小二乘回归分析(PLS-DA)

Comparison of Organic Acid Composition in 15 Varieties of Cheese Using GC-MS and PCA

ZHAO Yun¹, XIA Ya-nan^{2*}, LIU Hao², SHUANG Quan²

(1. Department of Food and Bioengineering, Handan Polytechnic College, Handan 056000, Hebei, China;

2. School of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010000, Inner Mongolia, China)

Abstract: To determine the effects of different processing methods on organic acids in cheese, liquid-liquid extraction and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to identify the organic acid profiles of 15 cheese varieties, including cheeses made from traditional milk curd, made by western cheese manufacturing processes, and remanufactured. The experimental results indicate that no exogenous substances were added during the production of traditional milk curd, which contained few organic acids at low concentration. The main organic acids included acetic acid, hexanoic acid, decanoic acid, dodecanoic acid, tetradecanoic acid, hexadecanoic acid, nonanoic acid, and 9-decenoic acid. Western cheese production processes often add high-fat substances and maturation steps, increasing organic acid composition significantly. The main organic acids included hexanoic acid, caprylic acid, decanoic acid, dodecanoic acid, tetradecanoic acid, hexadecanoic acid, nonanoic acid, 9-decenoic acid. The organic acid composition of remanufactured cheese was the most complex, due to the abundance of raw materials used. The main organic acids included benzoic acid, butyric acid, hexanoic acid, caprylic acid, decanoic acid, dodecanoic acid, tetradecanoic acid, octadecanoic acid, pentadecanoic acid, 9-decenoic acid, and 9-hexadecenoic acid. The main acids found in common in the three classes of cheese were hexanoic acid, decanoic acid, dodecanoic acid, tetradecanoic acid, hexadecanoic acid, 9-decenoic acid, and bi-carbon acids. Principal component analysis could be used to distinguish traditional cheeses from remanufactured cheese, but it was not ideal for distinguishing among western cheeses made with different processing techniques.

基金项目:内蒙古自治区自然科学基金博士基金(2020BS03012)

作者简介:赵赞(1979—),男(汉),讲师,硕士,研究方向:农产品加工及贮藏。

*通信作者:夏亚男(1988—),女(满),讲师,博士,研究方向:食品科学。

Key words: cheese; gas chromatograph-mass spectrometer; internal scale quantification method; organic acid; principal component analysis (PCA); partial least squares discriminant analysis (PLS-DA)

引文格式:

赵赞,夏亚男,刘皓,等.基于GC-MS及PCA对比15种奶酪的有机酸成分[J].食品研究与开发,2021,42(15):163-171.

ZHAO Yun, XIA Yanan, LIU Hao, et al. Comparison of Organic Acid Composition in 15 Varieties of Cheese Using GC-MS and PCA[J]. Food Research and Development, 2021, 42(15): 163-171.

近年来,随着居民生活水平的提高,饮食结构发生改变,发酵乳制品成为居民消费的热点,液态奶、酸奶需求增长,被誉为“奶黄金”的发酵乳制品——奶酪也受到广大民众的青睐。关于奶酪的记载最早出现在公元前约3000年,牧人利用变酸的牛奶将乳清与凝乳分离,再对凝乳以沥干、成型、干燥、包装等工序进行处理而获得耐储且营养的食物^[1-2]。目前,因加工工艺、原料及成熟方式存在差异,奶酪已有1000多种。目前市场上常见的奶酪主要是西式奶酪和再制奶酪。再制奶酪是指将两种及两种以上的奶酪加热混合,并添加乳化剂和香料制成的奶酪^[3-4],赋予奶酪丰富的口感和不同的风味。此外,在我国西北地区居住的蒙古族,最初因长期游牧生活,将牛乳制成各类乳制品,而蒙古族的特色传统食物——奶豆腐,呈乳白色,形似豆腐,故而取名“奶豆腐”^[5-6]。由此可见,奶酪的种类复杂多样,不同种类的奶酪呈现不同的风味口感。

奶酪独特的风味是其广受欢迎的原因之一,奶酪的风味是由碳水化合物代谢、脂肪降解和蛋白质水解生化反应生成的^[7-9]。查阅大量文献发现,对于奶酪风味物质的研究,多是针对于西式奶酪风味,对奶酪特征风味的分析进行系统地总结,形成完善的研究体系^[10-12]。Delgado等^[13]通过固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术对西班牙软质奶酪的风味物质进行检测,其中有机酸含量最多,占总提取香气的61.5%。Rychlik等^[14]基于动态顶空气相色谱-质谱(dynamic headspace gas chromatography-mass spectrometry, DHGC-MS)、香气提取物稀释分析(aroma extract dilution analysis, AEDA)和气相色谱-嗅觉测定(gas chromatography-olfactometry, GC-O)的结果分析瑞士格鲁耶尔干酪的主体香气物质及异味组分,研究表明瑞士格鲁耶尔奶酪典型风味是由丁酸、2-3-甲基丁酸和苯丙酮形成,而样品表现出的土豆味则由2-乙基-3,5-二甲基吡嗪和2,3-二乙基-5-甲基吡嗪引起。Corrêa Lelles Nogueira等^[15]通过对米纳斯干酪香气物质的研究表明,挥发性物质产生与微生物、酶及复杂的自发反应有关。

对于内蒙古传统奶豆腐的研究大多是集中在多样性的微生物菌群中筛选优良菌株^[16-17],对奶豆腐质量、工艺的控制^[18],有关奶豆腐风味物质的研究较少。徐幸等^[19]用偏最小二乘回归法对乳扇所含的风味物质与感官相联系,试验表明乳扇的奶油味与酮类物质有关;酸腐味是由酸类、酯类物质引起的。高鑫^[20]通过试验证明发酵剂的用量为1.0 g/L原料乳时,硬质蒙古干酪风味浓郁,品质优良。苏燕玲^[21]通过气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)、GC-O和电子鼻检测,对不同种酶改性干酪的风味物质进行研究,试验表明酸类物质占比较大。由此可见,酸类物质是奶酪风味的重要组成部分。

不同的制作工艺对奶豆腐的风味都会产生影响,因此如何对奶豆腐的特征风味物质进行研究是奶豆腐风味提升及产业发展亟需解决的问题。酸类物质是发酵乳制品的特征风味成分之一,短链(C2~C10)挥发性酸类物质对食品的风味和质量有着显著的影响。因此本论文基于GC-MS及香气活力值(odour active values, OAV)旨在研究对比分析15种奶酪的有机酸成分,试图掌握奶豆腐与西式、再制奶酪有机酸成分的差异,为奶酪的风味调控和品质优化奠定试验基础,并为奶酪产业的发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

5种传统奶豆腐:C1为内蒙古锡林郭勒盟镶黄旗纯手工制作的传统奶豆腐;C2为内蒙古锡林郭勒盟牧乡源食品有限公司传统奶豆腐;C3为内蒙古锡林郭勒盟宏福源食品有限公司传统奶豆腐(脱脂);C4为内蒙古锡林郭勒盟牧乡源食品有限公司传统奶豆腐(加糖);C5为内蒙古锡林郭勒盟宏福源食品有限公司传统奶豆腐。其中C1、C2、C5为内蒙古锡林郭勒盟不同厂家纯手工制作的传统奶豆腐;C3奶豆腐加工中除去了部分脂肪;C4是一种手工制作的加糖传统奶豆腐。

5种再制奶酪:Z1为安拉爱氏晨曦原味再制干酪

条,是表面光滑无黏性的奶酪条,产地丹麦;Z2为凯瑞涂抹型原味奶酪,是表面光滑的块状奶酪,奶香味浓郁,产地法国;Z3为乐芝牛芝士小食(原味),是稍有黏性的块状奶酪,产地法国;Z4为皇家伊莱高达涂抹奶酪,是黏稠的膏状奶酪,产地荷兰;Z5为皇家伊莱成长涂抹奶酪,是黏稠的膏状奶酪,产地荷兰。

5种西式奶酪:X1为乡村奶酪,是未成熟奶酪,添加稀奶油,产地哥本哈根;X2为法式希小金文奶酪,是霉菌成熟干酪,味道稍淡,产地法国;X3为法式希小布里奶酪,是霉菌成熟干酪,味道适中,产地法国;X4为法式希布利布兰奶酪,是霉菌成熟干酪,味道浓郁,产地法国;X5为牧森西班牙风味奶油奶酪,是成熟干酪,添加奶油,产地西班牙。

乙醚(分析纯):东莞市乔科化学有限公司;无水硫酸钠(分析纯):廊坊鹏彩精细化工有限公司;有机膜(0-22 μm):上海析域仪器设备有限公司。

1.2 仪器与设备

IKA A11basic 粉碎机:德国 IKA 艾卡公司;Eppendorf Centrifuge 5430 R 离心机:德国 Eppendorf 公司;Organo-mation OA-HEAT 氮吹仪:南京铭奥仪器设备有限公司;MV02-ZX3 涡旋仪、Thermo TRACE 1300-ISQ 气相色谱-质谱联用仪:美国赛默飞世尔科技公司。

1.3 方法

1.3.1 液相萃取法

取适量奶酪样品,切成 2 cm×2 cm×2 cm 的块状,用粉碎机研磨为粉状。称取 10 g 处理后的样品,加入 200 μL 3-辛醇、4 g 氯化钠后进行涡旋,再加入 10 mL 乙醚涡旋、5 500 r/min 离心 5 min,取上层有机相;下层再加 5 mL 乙醚涡旋,5 500 r/min 离心 5 min,合并上层有机相,使用氮吹仪吹至 1 滴,用乙醚复溶至 2 mL,加 3 g 无水硫酸钠脱水,最后用 0.22 μm 有机膜过滤于进样瓶内,进行 GC-MS 检测。

1.3.2 GC-MS 条件

氦气作载气,流速 1 mL/min,进样量 1 μL,样品通过 DB-Wax 毛细管柱(30 mm×0.25 mm,0.25 μm)。升温程序:起始柱温 40 ℃,保持 5 min,以 3 ℃/min 升到 200 ℃,保持 5 min,最后 2 ℃/min 升到 230 ℃,保持 10 min;进样口温度 250 ℃,无分流进样。

电子电离(electron ionization)源,电离能 70 eV,离子源温度为 230 ℃,接口温度 250 ℃,四极杆温度 150 ℃,检测器温度为 280 ℃,扫描模式为全扫描,质量范围为 20 amu~350 amu。

1.3.3 定量方法

采用内标法定量,对 15 种奶酪中有机酸成分进行定量分析。定量公式如下。

$$C_i = A_i / A_s \times f_i' \times C_s$$

式中: C_i 为*i*物质的浓度,μg/mL; C_s 为内标物的浓度,μg/mL; A_i 为*i*物质的峰面积; A_s 为内标物的峰面积; f_i' 为相对校正因子。

1.4 统计分析方法

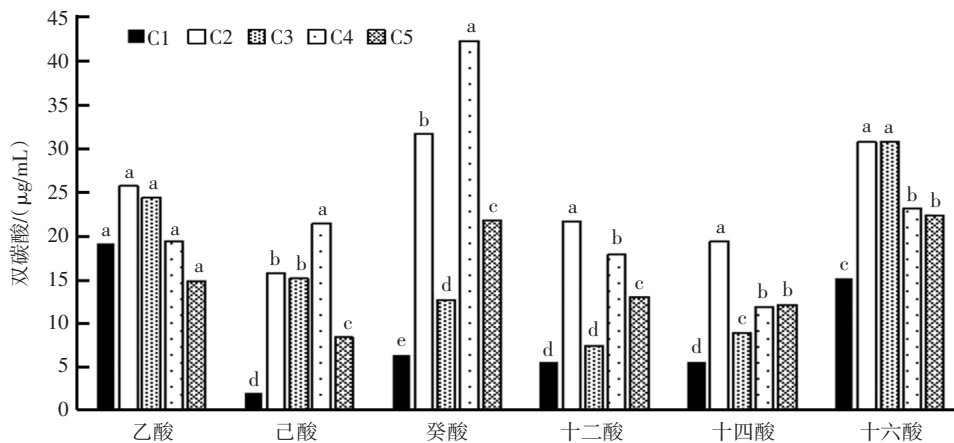
采用 IBM SPSS Statistics 24 软件方差分析(analysis of variance,ANOVA)进行显著性分析, $P<0.05$ 认为存在显著性差异;并采用 SIMCA-P 进行主成分分析(principal component analysis,PCA)。

2 结果与分析

2.1 传统奶豆腐有机酸成分分析

对不同制作工艺的传统奶豆腐中双碳酸含量进行分析,结果见图 1。

结果表明,C1 是纯手工制作,成熟时间较短,导致香气形成不足,双碳酸含量普遍偏低,其中乙酸含量最高,其余双碳酸均显著低于其他样品($P<0.05$)。C2 样品双碳酸含量均较高,乙酸、十二酸、十四酸、十六酸均处于最高含量,仅己酸和癸酸低于 C4 样品。在 C3



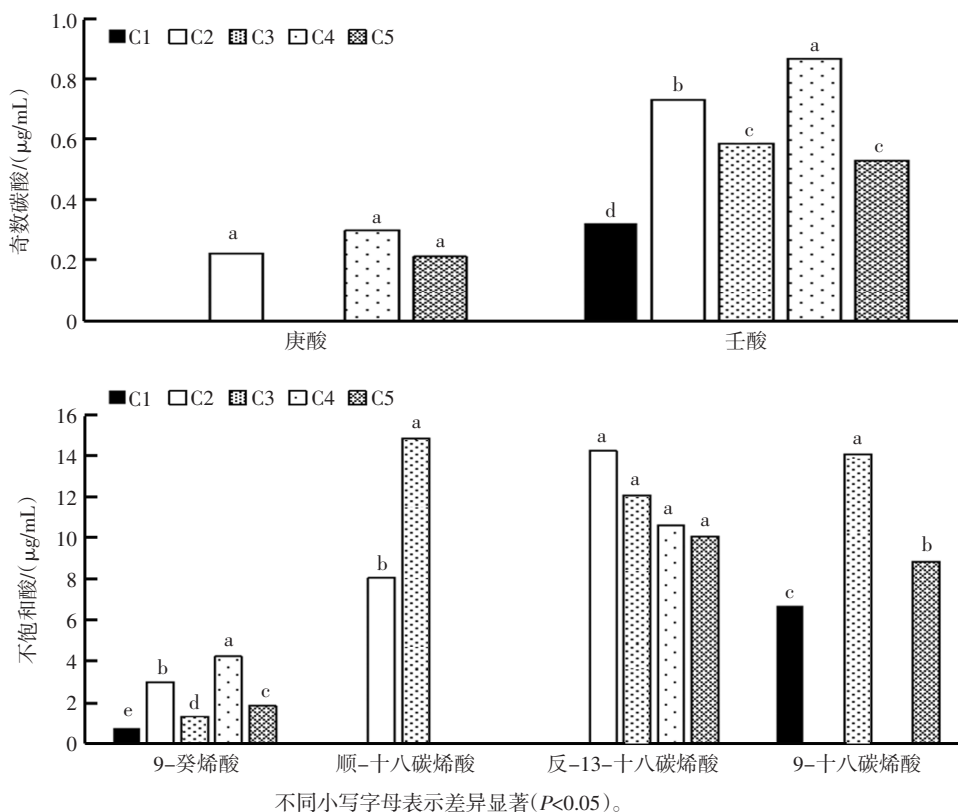
不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图1 5种传统奶豆腐有机酸含量比较

Fig.1 Comparison of the acids contents in five kinds of traditional milk curd

的制作过程中会除去部分脂肪,由脂肪分解产生的有机酸减少,导致除十六酸外,其余双碳酸含量较C2均有所下降;C4因糖含量较高,碳水化合物代谢产生大量有机酸,尤其癸酸含量显著高于其他样品($P < 0.05$);C5是工厂制作的传统奶豆腐,较C1成熟时间长,除乙酸外,其余双碳酸含量稍高于C1样品($P < 0.05$)。

5种奶豆腐中奇数碳酸只检测出庚酸和壬酸两种,且含量均较低,C1成熟期短,C3除去部分脂肪,导致两种奶豆腐奇数碳酸较少,均只检测到庚酸且含量无显著性差异($P > 0.05$)。C4样品壬酸显著高于其他奇数碳酸($P < 0.05$)。C5样品奇数碳酸含量较低,表明加糖处理促进碳水化合物代谢,有利于奇数碳酸的形成;而成熟过程会促进一部分奇数碳酸进一步转化成酯类,引起酸类物质含量的下降。5种传统奶豆腐中不饱和酸成分存在一定差异,除反-13-十八碳烯酸外,其余不饱和酸均具有明显差异,其中9-癸烯酸尤为显著。C1成熟期短,只有9-癸烯酸、9-十八碳烯酸两种不饱和酸,且显著低于其他样品($P < 0.05$);C2样品中顺-18-碳烯酸、反-13-十八碳烯酸处于最高水平,但未检测到9-十八碳烯酸,E-9-十四碳烯酸、Z-11-十四碳烯酸为C2特有的不饱和酸;C3并未因除去部分脂肪而降低不饱和酸成分,反而是5种样品中不饱和酸

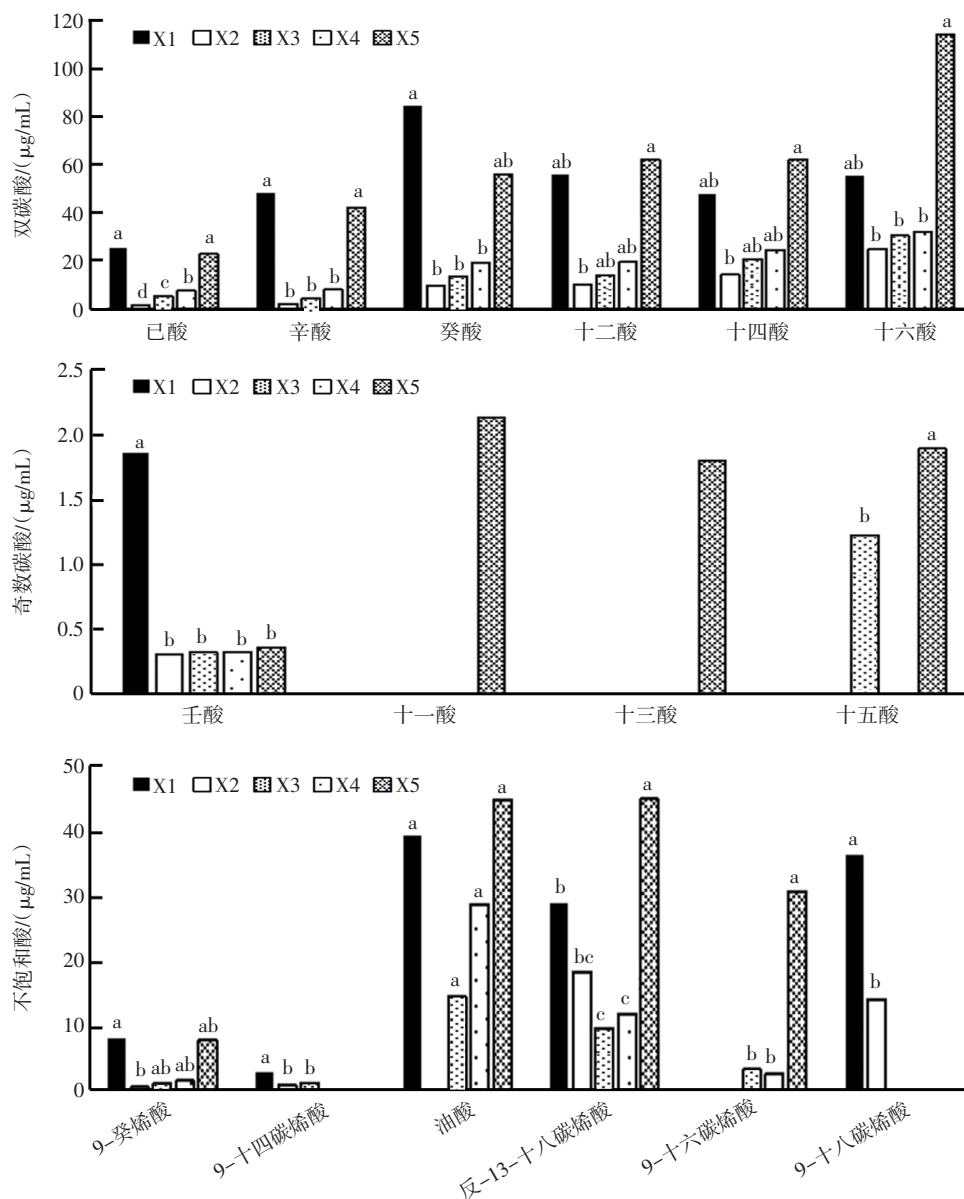
成分最丰富的奶酪品种,除图1显示的不饱和酸外还包括顺-13-十八碳烯酸、顺-9-二十碳烯酸。C4所含不饱和酸种类最少,只有9-癸烯酸、反-13-十八碳烯酸。C5比C1成熟期长,除不含顺-18-碳烯酸外,其余不饱和酸含量都显著高于C1样品($P < 0.05$)。另外,C3还检测到8-壬炔酸。

综合以上分析,传统奶豆腐中双碳酸种类及含量较其他类酸多,主体有机酸包括乙酸、己酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、壬酸、9-癸烯酸。传统奶豆腐成熟期长,提高糖含量,其有机酸种类及含量都会提高。反之,制作过程中除去部分脂肪及较短的成熟期都会降低有机酸的种类和含量。

2.2 西式奶酪中有机酸成分分析

对5种西式奶酪中双碳酸成分进行分析,结果见图2。

结果表明,X1、X5样品制作过程中添加高脂肪物质,增加脂肪分解,比其他样品产生更多的双碳酸,如己酸、辛酸、癸酸($P < 0.05$);X2、X3、X4均为霉菌成熟干酪,味道依次加重,双碳酸含量也依次增多,但无显著差异($P > 0.05$);X5为成熟干酪并在制作过程加入奶油,除辛酸、癸酸外其余双碳酸含量均高于其他样品,表明额外添加辅料奶油会显著增加奶酪中双碳酸的



不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

图2 5种西式奶酪有机酸含量比较
Fig.2 Comparison of the acids contents in five kinds of western cheese

含量。除此之外,试验还检测到少量的十八酸、乙酸、丁酸,未发现明显规律。

5种样品共有的奇数碳酸为壬酸。X1由于制造过程中加入奶酪,壬酸含量显著高于X2、X3、X4、X5样品($P<0.05$);X2、X3、X4均为霉菌成熟奶酪,三者中壬酸含量无显著性差异($P>0.05$),均处于较低水平,与传统奶豆腐结果相似,验证了成熟过程会促进一部分奇数碳酸进一步转化成酯类,引起酸类物质含量的下降;X5不仅经过成熟而且在制作过程中加入奶油,其奇数碳酸种类多且含量高,除壬酸外还检测到十一酸、十三酸、十五酸等物质。

对5种不同制作工艺的西式奶酪中不饱和酸成分

进行分析,结果表明,5种奶酪样品共有的不饱和酸为9-癸烯酸和反-13-十八碳烯酸。整体上看,X1、X5样品不饱和酸种类较其他样品丰富。X5比X1增加成熟工序,使得9-十六碳烯酸、反-13-十八碳烯酸显著高于其他样品($P<0.05$)。此外,X5样品除图中不饱和酸外,还检测出Z-7-十四烯酸、4-己烯酸、顺-5-十二碳烯酸、顺-13-十八碳烯酸等不饱和酸,表明成熟过程能显著增加再制奶酪不饱和酸的种类及含量。

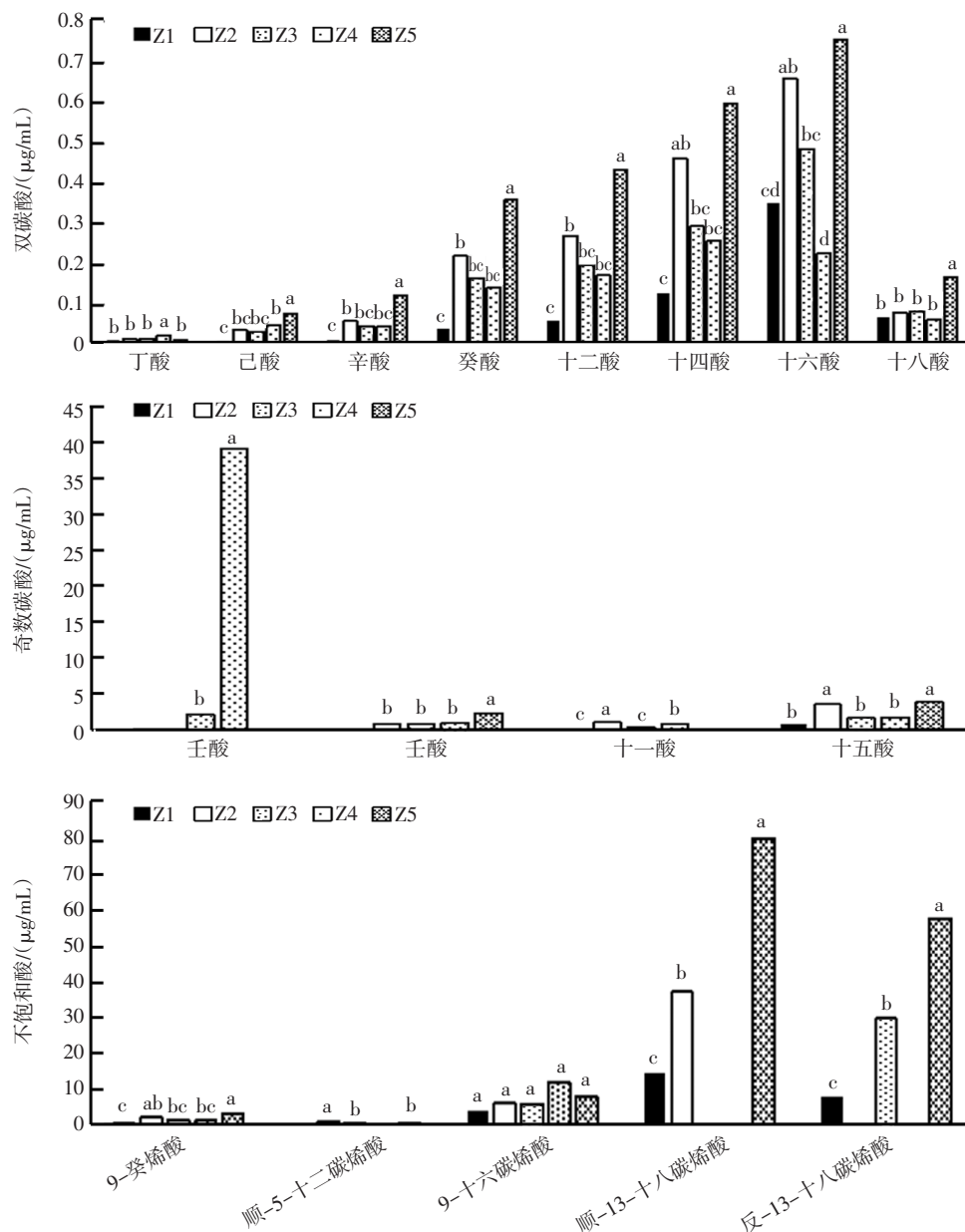
综合以上分析表明,西式奶酪的主体酸包括己酸、辛酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、壬酸、9-癸烯酸。西式奶酪制作过程中加入奶油等高脂肪物质,可有效增加有机酸的种类及含量。成熟过程会促进一部

分有机酸转化成酯类,增强奶酪风味的浓郁性。

2.3 再制奶酪中有机酸成分分析

再制奶酪是由两种及两种以上的奶酪经高温融

化后混合,并添加乳化剂和香料制成。试验对5种不同制作工艺的再制奶酪中有机酸成分进行分析,有机酸含量比较见图3。



不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

图3 5种再制奶酪有机酸含量比较
Fig.3 Comparison of the acids contents in five kinds of remade cheese

与传统奶豆腐及西式奶酪相比,再制奶酪中双碳酸成分较多且含量高,其中十六酸和十四酸含量较高,是再制奶酪的主体双碳酸物质。5种不同制作工艺的再制奶酪中双碳酸含量存在一定差异,Z3、Z4中除十六酸,其余双碳酸含量均无显著性差异($P>0.05$)。Z5中除丁酸外,其余双碳酸均显著性高于其他样品($P<0.05$),Z1样品中双碳酸含量最低。

对5种制作工艺不同的再制奶酪中奇数碳酸进行

分析,结果表明,5种产品共有的奇数碳酸为十五酸,Z2、Z5显著高于Z1、Z3、Z4样品($P<0.05$)。除Z4中丙酸含量较高外,其余奇数碳酸含量都较低。此外,Z1中特有的奇数碳酸为十七酸,Z2中特有的奇数碳酸为庚酸。再制奶酪不饱和酸分析结果表明,9-十六碳烯酸含量无显著性差异($P>0.05$),Z5样品除顺-5-十二碳烯酸外,其余不饱和酸均显著高于其他样品($P<0.05$),其中Z1最低。5种再制奶酪中不饱和酸成分复杂,共

有的不饱和酸为9-十六碳烯酸、9-癸烯酸,不同类型产品还有各自独有的不饱和酸。Z1中特有的不饱和酸为顺式-10-十七碳烯酸、Z-7-十四烯酸,含量也较高;Z2中顺式-13-十八碳烯酸的含量较高,所含的不饱和酸种类较少;Z3、Z4中特有的不饱和酸分别为顺-9-二十碳烯酸、9-十八碳烯酸。再制奶酪中主体酸包括苯

甲酸、丁酸、己酸、辛酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、十八酸、十五酸、9-癸烯酸、9-十六碳烯酸。

2.4 不同制作工艺对奶酪有机酸的影响

传统奶豆腐与西式奶酪、再制奶酪中有机酸成分比较见图4。

通过GC-MS对15种奶酪的主要有机酸成分进

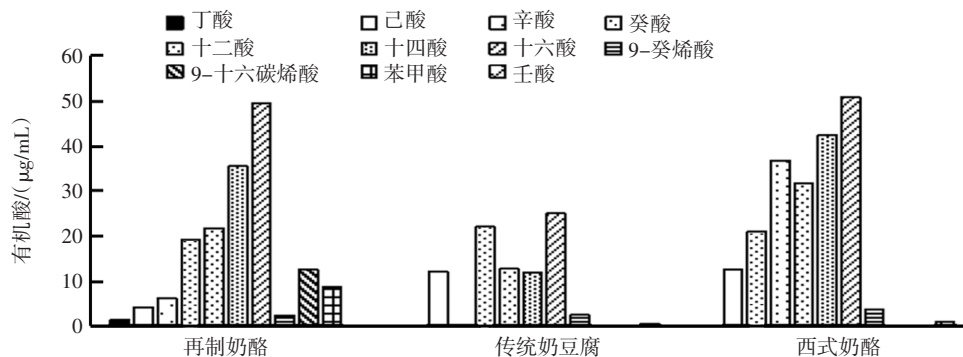


图4 传统奶豆腐与西式奶酪、再制奶酪中有机酸成分比较

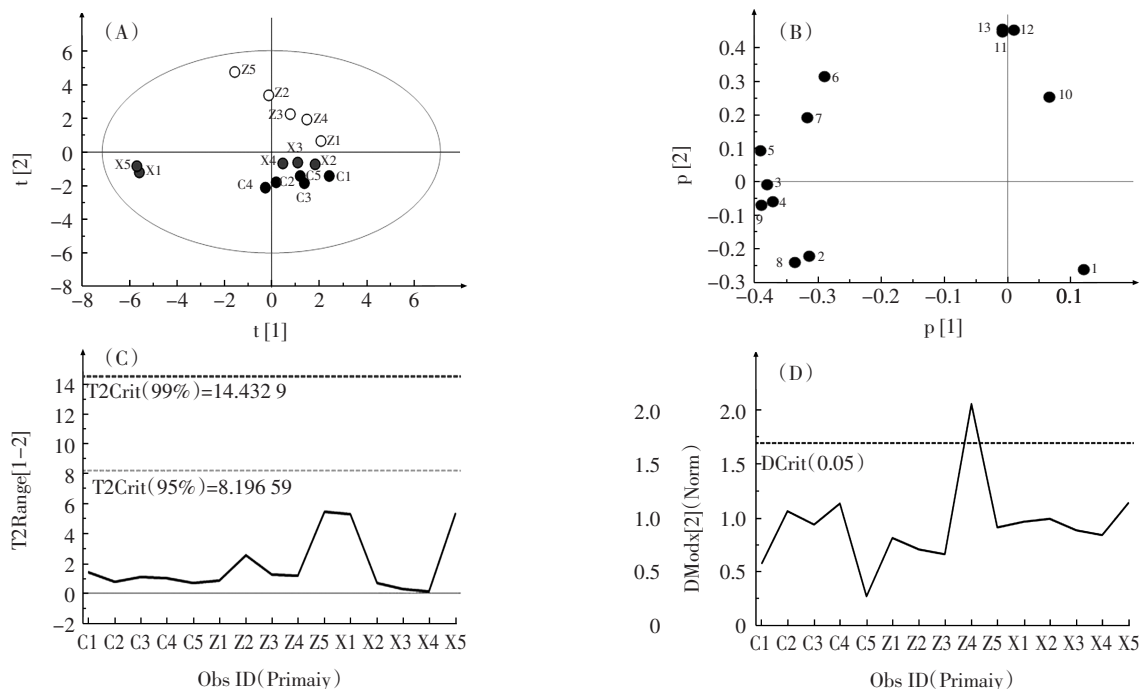
Fig.4 Comparison of acid components among traditional milk curd and western and remade cheese

行分析,发现三类奶酪都含有己酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、9-癸烯酸,其中双碳酸较多。传统奶豆腐特有的有机酸为乙酸,再制奶酪特有的有机酸为苯甲酸、丁酸,西式奶酪中不饱和酸较少。

传统奶豆腐因在制作过程中未经过成熟的工序且原料除牛乳外几乎不添加其他成分,其主体酸种类及含量均偏低;西式奶酪大部分为霉菌成熟干酪,且

在制作过程中加入如奶油等高脂肪物质,使西式奶酪有机酸的含量较高,风味较浓;再制奶酪是将多种成品奶酪进行再加工,添加黄油、乳清粉、乳蛋白等物质,提高脂肪分解、蛋白质水解产生的有机酸,使成品口感丰富。

15种奶酪有机酸的主成分分析及异常值验证见图5。



1~13 分别为乙酸、己酸、辛酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、壬酸、9-癸烯酸、9-十六碳烯酸、苯甲酸、十八酸、十五酸。(A)主成分分析得分;(B)主成分分析载荷图;(C)Hotelling 验证图;(D)DModx 图。

图5 15种奶酪有机酸的主成分分析及异常值验证

Fig.5 Principal component analysis and verification results of acids in fifteen kinds of cheese

由图 5(A)可知,第一、二主成分贡献率分别为 47.7%、34%,总贡献率 81.7%,表明主成分分析可说明样本整体情况。由主成分分析结果可知,传统奶酪(C)、再制奶酪(Z)两组样本分别出现聚集现象,西式奶酪组(X)中 X2、X3 和 X4 样品酸类物质与传统奶酪组较接近,X1 和 X5 样本有机酸与另外两组奶酪区别较大。不同厂家西式奶酪制作工艺差异使产品有机酸成分出现明显差别,使得组间差异较明显。由此可见,主成分分析可用于区分传统奶酪及再制奶酪,对不同工艺西式奶酪的区分并不理想。结合载荷图[图 5(B)]可知,再制奶酪样本的 9-十六碳酸、苯甲酸、十八酸、十五酸含量较突出,传统奶酪组及西式奶酪(X2、X3、X4)的乙酸含量较突出,而西式奶酪 X1 和 X5 样本的癸酸和 9-癸烯酸含量较突出。经 Hotelling 验证,奶酪有机酸数据均处于 99%置信区间[图 5(C)],DModx 图[图 5(D)]中数值均未超过 2.4,表明 PCA 分析数据并未出现异常值,结果准确可靠。15 种奶酪有机酸的偏最小二乘回归分析(partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)见图 6。

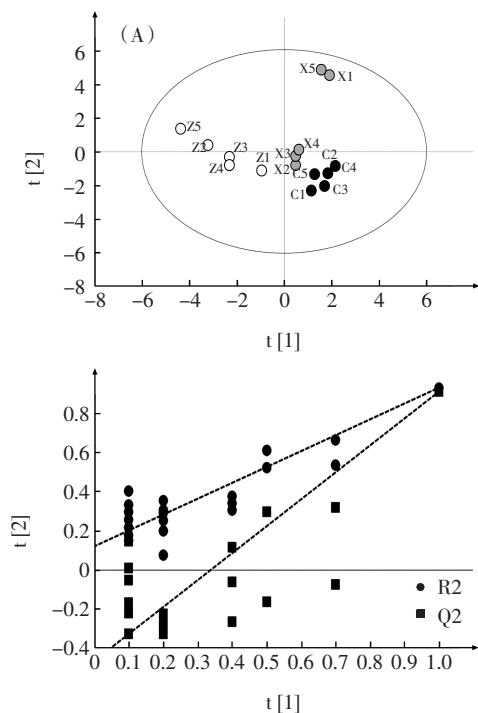


图 6 15 种奶酪有机酸的 PLS-DA 分析
Fig.6 PLS-DA analysis of acids in fifteen kinds of cheese

PLS-DA 分析结果与主成分分析相似,对传统奶酪及再制奶酪有较好的区分效果,但对不同工艺西式奶酪的区分不理想。PLS-DA 分析经 Permutation 计算 200 次验证,分析结果可靠。

奶酪的风味与蛋白质,脂肪、碳水化合物的含量

有极大的关系,且含量越高,奶酪风味越浓郁,如经过霉菌成熟,由于霉菌的分解,会产生更多的有机酸成分,确保奶酪的口味与质量。因此,传统奶豆腐可通过添加糖、脂肪、乳蛋白从而提高奶豆腐的风味,进行工艺优化。但由于本试验选取的样品种类多样化,成熟时间、产地及菌种不同,对试验结果的可比性造成一定影响,因此后续试验在样品选择时尽量选择相同成熟时间或相同菌种发酵的奶酪,避免其他因素对试验结果造成影响。

3 结论

通过 GC-MS 对 15 种奶酪的有机酸成分进行分析得出,传统奶豆腐中主要有机酸包括乙酸、己酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、壬酸、9-癸烯酸;西式奶酪中主要有机酸包括己酸、辛酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、壬酸、9-癸烯酸。再制奶酪中主要有机酸包括苯甲酸、丁酸、己酸、辛酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、十八酸、十五酸、9-癸烯酸、9-十六碳烯酸。三类奶酪都含有己酸、癸酸、十二酸、十四酸、十六酸、9-癸烯酸,其中双碳酸较多。主成分分析可用于区分传统奶豆腐及再制奶酪,对不同工艺西式奶酪的区分不理想。同时发现通过在奶酪制作过程中提高糖含量和添加高脂肪物质,可提高奶酪中有机酸含量,经霉菌成熟后,由于霉菌的作用使奶酪获得独特的风味与口感。再制奶酪由于是对成品奶酪进行再加工并添加黄油、乳蛋白等物质,使其有机酸成分更为丰富,成品味道浓郁。

参考文献:

- [1] MARILLEY L, CASEY M G. Flavours of cheese products: metabolic pathways, analytical tools and identification of producing strains[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 90(2): 139-159.
 - [2] LI J, ZHANG W, WANG C, et al. *Lactococcus lactis* expressing food-grade β -galactosidase alleviates lactose intolerance symptoms in post-weaning Balb/c mice[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2012, 96(6): 1499-1506.
 - [3] 张书义, 徐杨, 赵华, 等. 再制奶酪工艺配料实用控制技术[J]. 中国乳业, 2019(7): 73-76.
 - [4] 罗洁, 任发政, 王紫薇, 等. 干酪质构与风味控制技术研究进展[J]. 农业机械学报, 2016, 47(1): 190-201, 208.
- ZHANG Shuyi, XU Yang, ZHAO Hua, et al. Practical control technology of ingredients for reprocessing cheese[J]. China Dairy, 2019 (7): 73-76.
- LUO Jie, REN Fazheng, WANG Ziwei, et al. Advances in control technology of cheese quality and texture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1): 190-201, 208.

- [5] 王晓宇. 蒙古族传统奶豆腐工业化生产关键技术研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017: 1-4.
WANG Xiaoyu. Research on industrialization technology processing of the Mongolian hurood's[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017: 1-4.
- [6] 雷炎, 周亚澳, 单春会, 等. 基于高通量测序技术奶豆腐核心细菌类群的研究[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(6): 9-13.
LEI Yan, ZHOU Yaao, SHAN Chunhui, et al. Study on the core bacterial microbiota of dairy tofu based on high-throughput sequencing technology[J]. China Dairy Industry, 2020, 48(6): 9-13.
- [7] ALMENA-ALISTE M, MIETTON B. Cheese classification, characterization, and categorization: a global perspective[J]. Microbiology Spectrum, 2014, 2(1): 120-147.
- [8] KURTOVIC I, MARSHALL S N, MILLER M R, et al. Flavour development in dairy cream using fish digestive lipases from Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and New Zealand hoki (*Macruronus novae Zealandiae*)[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1562-1568.
- [9] HAUFF S, VETTER W. Quantification of fatty acids as methyl esters and phospholipids in cheese samples after separation of triacylglycerides and phospholipids[J]. Analytica Chimica Acta, 2009, 636(2): 229-235.
- [10] ÁLVAREZ S, FRESNO M. Effect of the ripening period and intravarietal comparison on chemical, textural and sensorial characteristics of palmero (PDO) goat cheese[J]. Animals, 2020, 11(1): 58.
- [11] 马艳丽, 曹雁平, 杨贞耐, 等. SPME-GC-MS 检测不同中西方奶酪的挥发性风味物质及比较[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 103-107.
MA Yanli, CAO Yanping, YANG Zhennai, et al. Comparative analysis of volatile compounds in different cheese samples by SPME-GC-MS[J]. Food Science, 2013, 34(20): 103-107.
- [12] XIAO J, CHEN Y, LI J, et al. Evaluation of the effect of auxiliary starter yeasts with enzyme activities on Kazak cheese quality and flavor[J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 11: 614208.
- [13] DELGADO F J, GONZÁLEZ-CRESPO J, CAVA R, et al. Characterisation by SPME-GC-MS of the volatile profile of a Spanish soft cheese P.D.O. Torta del Casar during ripening[J]. Food Chemistry, 2010, 118(1): 182-189.
- [14] RYCHLIK M, BOSSET J O. Flavour and off-flavour compounds of Swiss Gruyère cheese. Evaluation of potent odorants[J]. International Dairy Journal, 2001, 11(11-12): 895-901.
- [15] CORRÊA LELLES NOGUEIRA M, LUBACHEVSKY G, RANKIN S A. A study of the volatile composition of Minas cheese[J]. LWT-Food Science and Technology, 2005, 38(5): 555-563.
- [16] 吕冠薇, 段翠翠, 高磊, 等. 奶豆腐来源植物乳杆菌的益生特性评价[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(6): 134-139.
LYU Guanwei, DUAN Cuicui, GAO Lei, et al. Probiotic properties of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from Dairy Tofu[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(6): 134-139.
- [17] 李华, 王华, 夏春丽, 等. 科尔沁地区传统发酵奶豆腐中乳酸菌的鉴定[J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 222-226.
LI Hua, WANG Hua, XIA Chunli, et al. Identification of lactic acid bacteria isolated from fermented dairy Tofu of Horqin Region[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(22): 222-226.
- [18] 赵红霞, 李应彪. 奶豆腐生产工艺的优化[J]. 乳业科学与技术, 2009, 32(3): 133-135.
ZHAO Hongxia, LI Yingbiao. Optimization of fermented milk curd processing technology[J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2009, 32(3): 133-135.
- [19] 徐幸, 舒平, 张晓鸣. 偏最小二乘回归分析乳扇在贮藏期间挥发性物质与感官特性的关系[J]. 现代食品科技, 2016, 32(12): 314-320.
XU Xing, SHU Ping, ZHANG Xiaoming. Correlation analysis of volatile compounds and sensory attributes of Rushan cheese during storage by partial least squares regression[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(12): 314-320.
- [20] 高鑫, 张亮, 李博. 发酵剂用量对硬质蒙古干酪风味变化的影响[J]. 中国酿造, 2015, 34(8): 77-81.
GAO Xin, ZHANG Liang, LI Bo. Effect of fermentation starter addition on the flavor of Mongolian hard cheese[J]. China Brewing, 2015, 34(8): 77-81.
- [21] 苏燕玲. 酶改性干酪的关键制备技术及其风味特性的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013: 23-25.
SU Yanling. Study on the key technologies of enzyme modified cheeses(EMCs) and its flavor characteristics[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013: 23-25.

加工编辑: 冯娜

收稿日期: 2020-08-29