

火麻仁油凝固型酸奶的品质研究

魏月媛, 李理

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东广州 510640)

摘要: 为了获得风味良好的火麻仁油酸奶, 本文以脱脂酸奶和全脂酸奶为对照, 以火麻仁油和脱脂乳粉配成复合乳, 经微射流处理后, 发酵制备出以火麻仁油替代乳脂的凝固型火麻仁油酸奶, 进一步研究了其流变学性质、微观结构、挥发性风味成分以及感官评价。结果表明微射流处理能获得质地均一的火麻仁油酸奶。当火麻仁油用量在 3.0% 时, 火麻仁油酸奶的持水力、流变学性质及网络结构均与全乳脂酸奶接近, 但挥发性香气成分及感官评价差异比较大, 其中酸奶的特征性香气成分 3-羟基-2-丁酮和 2, 3-丁二酮的含量比全乳脂酸奶低, 并含有火麻仁油的特征性成分石竹烯、D-柠檬烯和 β -月桂烯等; 当火麻仁油的含量为 1.5% 时, 火麻仁油酸奶的酸度值为 97°T、持水力为 85%、屈服应力 τ_0 为 15 Pa、表观粘度 η_{50} 为 0.54 Pa s, 总体可接受度与全乳脂酸奶没有显著性差异 ($p < 0.05$)。可见, 1.5% 的火麻仁油酸奶总体可接受度高, 具有良好的应用前景。

关键词: 火麻仁油; 微射流均质; 酸奶; 流变学; 微观结构; 挥发性成分; 感官评价

文章编号: 1673-9078(2015)6-198-204

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.6.031

Preparation and Evaluation of Solidifying Yoghurt Supplemented with Hemp Seed Oil

WEI Yue-yuan, LI Li

(College of Light Industry and Food Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Solidifying yogurt was supplemented with hemp seed oil to improve flavor of the resultant yogurt; homogenous mixture was obtained using microfluidization. Subsequently, the rheological properties, microstructure, volatile flavor components, and sensory evaluation of the yogurt prepared from skim milk powder and microfluidized hemp seed oil (HMY) were compared to control samples (skim milk yogurt [SMY] and whole milk yogurt [WMY]). Using 3.0% hemp seed oil in yogurt, the water holding capacity, rheological properties, and microstructure of the yogurt was similar to those of WMY. However, the characteristic, volatile flavor components and sensory evaluation results were significantly different: the content of 3-hydroxy-2-butanone and 2,3-diacetyl in 3.0% hemp seed oil yogurt was significantly lower than those in WMY, whereas caryophyllene, D-limonene, and β -myrene were detected in 3.0% hemp seed oil yogurt. With 1.5% hemp seed oil in yogurt, the titratable acidity was 97°T, water-holding capacity (WHC) was 85%, yield stress (τ_0) was 15 Pa, and apparent viscosity (η_{50}) was 0.54 Pa·s; while it showed no significant difference ($p < 0.05$) with regard to overall acceptability, compared with WMY. It was concluded that addition of 1.5% hemp seed oil possessed high overall acceptability and shows good potential for commercial application.

Key words: hemp seed oil; microfluidization; yoghurt; rheology; microstructure; volatile component; sensory evaluation

火麻仁为桑科植物大麻 (*Cannabis sativa* L.) 的干燥成熟种子, 具有润燥、滑肠、通淋、活血的作用, 是一味传统的中药材。火麻油中含有高达 80% 的不饱和脂肪酸, 其中亚油酸和亚麻酸比例为 2:1 至 3:1^[1]; 此外, 火麻仁油中还含有 γ -亚麻酸和 γ -生育酚^[2], 具有很强的抗氧化、抗衰老和降脂降压等功效^[3], 应用

收稿日期: 2014-11-26

基金项目: 国家“863”计划项目(2013AA102201); 广州市对外科技合作项目(213J4500021)

作者简介: 魏月媛(1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 粮食、油脂及植物蛋白工程。

通讯作者: 李理(1965-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 蛋白质化学与工程

前景广阔。近年来, 火麻仁食品如火麻仁乳在国外受到热烈的追捧, 但在国内尚处在起步阶段^[1]。

酸奶是以牛奶为原料发酵而成的一类风味食品, 具有改善肠道菌群、降低血清胆固醇、抗衰老和抗动脉粥样硬化等生理活性。随着消费者对营养健康饮食的日益关注, 脱脂或低脂酸奶^[4]、功能性酸奶^[5-6]的开发逐渐成为当今的研究热点, 目前市面上的功能性酸奶主要有添加益生菌、益生元和各种功能性成分的产品。如果采用功能性油脂替换牛奶中的乳脂肪, 则有望获得功效性更好的产品, 既可以减少胆固醇的摄入, 又可以为消费者补充不饱和脂肪酸、维生素 E, 同时还能弥补脱脂或低脂酸奶因脂肪不足而带来的质构及

口感上的缺陷。目前已有柏子仁脂肪油酸奶、DHA 藻油酸奶等的研制^[5-6], 但尚未见火麻仁油酸奶的报道。

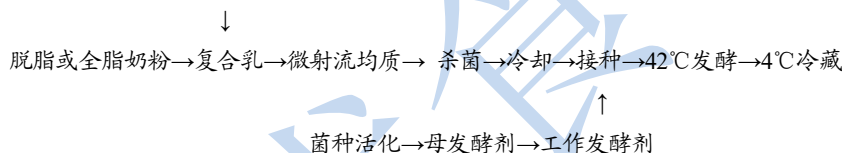
由于火麻仁油为非水溶性物质, 因此需要采取一定的方法处理才能获得质地均一的火麻仁牛奶乳液。彭玲在制备柏子仁脂肪油酸奶时使用了乳化稳定剂^[5], 而 Lane 等在研究富含 DHA 藻油的酸奶时应用了一项包含超声处理的专利技术^[6]。高压微射流均质技术是一种新兴的高压加工技术, 具有高压混合、均质和减小粒度等多种作用。能对流体混合物料进行强烈剪切、高速撞击、压力瞬时释放、高频振荡等一系列综合作用, 从而起到很好的超微化, 微乳化和均一化效果^[7]。

本项目拟通过微射流处理火麻仁油牛奶, 并进一步发酵制备火麻仁油酸奶, 使火麻仁油以纳米颗粒的形式均匀地分散到酸奶中, 以提高产品的品质及火麻仁油的生物可获得性^[6], 为火麻仁油食品的开发奠定基础。

1 材料与方法

1.1 原料

全脂乳粉、脱脂乳粉(蛋白含量约为 32.7%), 新西兰恒天然有限公司; 火麻仁油, 广州某企业; 尼火麻仁油、蔗糖



1.2.2 火麻仁油酸奶样品的制备

复合乳的配制: 分别配制 12% 的脱脂乳复原乳(skimmed milk, SM)、12% 的全脂乳复原乳(whole milk, WM)以及 10.5% 的脱脂乳加 1.5% 火麻仁油配制的复合乳和 9% 的脱脂乳加 3% 的火麻仁油配制的复合乳(hemp seed oil milk, HM); 以上所有配制乳中均添加 8% 的蔗糖充分溶解。将 4 种配制乳经过高速剪切均质后, 以 6000 r/min~7000 r/min 的剪切速率处理 10~15 min, 再经过 50 MPa 高压微射流处理后, 于 100 °C 下灭菌 15 min。

发酵剂的制备: 按照 12 g 脱脂奶粉加 100 mL 水的比例配制复原乳, 分装于试管和三角瓶中, 115 °C 灭菌 10 min, 冷却。在已灭菌的复原乳试管培养基中分别接入斜面保藏的保加利亚乳杆菌 L.B 1482 和嗜热链球菌 S.T 6038, 42 °C 静置培养 12 h 即为单菌种的母发酵剂; 在已灭菌的复原乳三角瓶培养基中按 10% 的比例分别接入单菌种的母发酵剂, 42 °C 静置培养

罗红、固绿染料, Sigma 公司; 其他试剂均为国产分析纯。

保加利亚乳杆菌 (*Lactobacillus bulgaricus* AS1.1482 简称为 L.B 1482)、嗜热链球菌(*Streptococcus thermophilus* IFFI 6038 简称为 S.T 6038), 购于广东省微生物研究所菌种保藏中心。

JJ500 型电子天平, 浙江余姚铭称重校验设备有限公司; AL204-IC 电子天平, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; HSG-IB-2 型电热恒温水浴锅, 常州奥华仪器有限公司; PXY-190S-A 型生化培养箱, 广东韶关科力仪器有限公司; YXQ-SG46-280S 型手提式高压灭菌锅: 合肥华泰医疗设备有限公司; DHG-9146A 型电热鼓风干燥箱, 上海精宏实验设备有限公司; SZX 超净工作台, 吴江净化设备总厂; M110-EH 型高压微射流纳米均质机: 美国 MFIC 公司; Seven Easy pH 计 (S20), 瑞士梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; RS-600 型流变仪, 德国 Hakke 公司; TCS SPE 型激光扫描共聚焦显微镜, 德国莱卡仪器公司; Agilent6890/5975B 气质联用仪, 美国 Agilent 公司; 其他玻璃仪器等。

1.2 试验方法

1.2.1 火麻仁油酸奶制备的工艺流程

12 h 即为单菌种的工作发酵剂。

火麻仁油酸奶的制备: 在上述配制的 4 种复合乳中按 5% 的比例接入工作发酵剂(保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌之间的比例为 1:1), 混匀后 42 °C 静置培养 4 h~6 h 凝乳, 置 4 °C 冰箱后熟 12 h 即获得 4 种酸奶样品 SMY、WMY、1.5% HMY 和 3.0% HMY。

1.2.3 火麻仁油酸奶的检测分析

pH 值的测定: 经后熟的样品恢复到室温后, 用玻璃棒搅拌均匀, 用 Seven Easy pH 计测定样品的 pH 值, 每次测定 3 个平行样品; 酸度值的测定: 按照 GB 5413.34-2010; 持水力、流变特性: 参照文献^[8]; 激光扫描共聚焦显微分析: 参照文献^[7]; 挥发性风味成分分析: 参照文献^[9]。

1.2.4 火麻仁油酸奶的感官评价

参照文献^[8]并适当修改。具体方法是邀请 6 名有经验的评价员, 从气味、外观、滋味、质构及总体可接受性等方面进行打分。评分标准见表 1, 采用 9 分制, 1

分为最差, 9分为最好。实验数据采用SPSS 19.0统计软件进行处理, 平均值和标准偏差由6个平行样品的

评分经计算得到, 采用Duncan分析方法, 置信水平为95%。

表1 火麻仁油酸奶的感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standards for solidifying yogurt supplemented with hemp seed oil

指标	评分标准	评分区间
气味	具有酸奶的特有香气与火麻仁油气味相协调	7~9
	稍有酸奶的香气与火麻仁油气味不是很协调	4~6
	有火麻仁油的腥味、少许酸奶的香气、气味不协调	1~3
外观	呈乳白色、有光泽	7~9
	稍带黄色、有光泽	4~6
	呈灰色、色泽暗淡	1~3
滋味	酸甜适中、滋味纯正、口感细腻润滑清爽, 略带火麻仁油的甘味	7~9
	酸甜适中, 口感较细腻清爽	4~6
	酸甜不适, 带有沙粒感, 发酵乳滋味不明显, 有较强的火麻仁油腥味	1~3
质构	无或有少量乳清析出、均匀细腻、无气泡	7~9
	有少量乳清析出、均匀细腻、无气泡	4~6
	有大量乳清析出、分层明显、有气泡	1~3
总体接受性	具有协调的酸奶特有香气与火麻仁油气味; 酸甜适中、滋味纯正、口感细腻润滑清爽, 略带火麻仁油的甘味; 最喜欢	7~9
	稍有酸奶的香气与火麻仁油气味不是很协调; 酸甜适中, 口感较细腻清爽; 比较喜欢	4~6
	有火麻仁油的腥味、少许酸奶的香气; 酸甜不适, 发酵乳滋味不明显; 有大量乳清析出; 最不喜欢	1~3

1.2.5 数据处理和分析

实验数据采用SPSS 19.0统计分析软件进行分析处理, 平均值和标准偏差由3个平行样品的分析结果经计算得到, 采用Duncan分析方法, 置信水平为95%。

2 结果与讨论

2.1 火麻仁油酸奶的 pH、酸度和持水力

表2 火麻仁油酸奶的 pH、酸度和持水力

Table 2 pH, titratable acidity, and water holding capacity of solidifying yoghurt supplemented with hemp seed oil (n=3)

样品	pH	TA/ T	WHC/%
SMY	4.32±0.01 ^a	99.73±0.64 ^a	80.13±0.02 ^c
1.5% HMY	4.27±0.02 ^b	97.45±0.42 ^b	85.98±0.04 ^b
3.0% HMY	4.25±0.00 ^b	88.93±0.27 ^c	90.71±0.00 ^a
WMY	4.24±0.01 ^b	85.68±0.20 ^d	91.54±0.01 ^a

注: 同行或同列不同字母表示有显著性差异 (p<0.05)。

如表2所示, 4种酸奶样品的 pH 没有显著差异, 但可滴定酸度差异明显, 其中脱脂酸奶可滴定酸度最高, 达到 99.73 T, 其次是 1.5% 火麻仁油酸奶, 为 97.45 T, 3.0% 火麻仁油酸奶和全脂酸奶的可滴定酸度

最低, 分别为 88.93 T 和 85.68 T。总体趋势是复合乳中非脂乳固形物含量越多可滴定酸度越高, 这可能是非脂乳固形物含量高时乳糖含量也高, 从而有利于乳酸菌的发酵产酸。此外, 这4种酸奶样品的持水力差异也比较大, 油脂含量高时, 持水力也比较高, 3.0% 的火麻仁油酸奶与全脂酸奶的持水力均在 90% 以上, 相互之间没有显著性差异, 说明油脂含量对酸奶凝胶的质地及稳定性有重要影响。Pereira 等^[10] (2006年) 曾研究脂肪对酸奶质构的影响, 发现在总固形物含量为 14% 时, 脂肪含量越高, 凝胶的结构越紧密。事实上, 凝胶结构的弱化是脱脂酸奶的一大缺陷, 而从本研究可以看到, 火麻仁油能替代乳脂肪起到相同的作用。总体来看, 火麻仁油的含量对酸奶的理化性质有明显的影响, 与脱脂酸奶相比, 1.5% 的火麻仁油酸奶其酸度值虽然有所降低, 但持水力显著增强。

2.2 火麻仁油酸奶的流变学性质

酸奶的流变学性质指的是酸奶的流动和形变随时间和力的变化而表现出的性质, 常用来描述和评价酸奶的质地, 如弹性、粘性和硬度等, 此外, 酸奶的流变学性质也被认为与食品自身的组织结构有关, 反映

了酸奶的感官品质。

2.2.1 频率扫描

一般酸奶凝胶组织特性的研究着眼于其黏度和硬度的测定。在弯曲力控制实验中, 响应的主要参数包括弹性模量(存储模量) G' 和粘性模量(损失模量) G'' , G' 是每个振荡周期中能量的存储值, 是用来测量样品弹性的尺度; G'' 是每个周期中以热的形式损失的能量, 用来衡量样品粘性的大小。

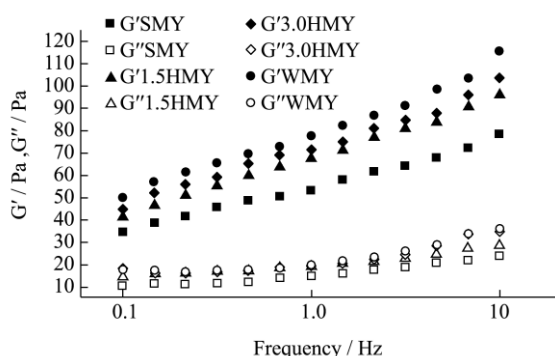


图1 火麻仁油酸奶的频率扫描曲线

Fig.1 Frequency sweep curve of set yoghurt supplemented with hemp seed oil

图1是4种酸奶样品的频率扫描图谱。由图1可知, 在0.1~10Hz的频率范围内, 随着扫描频率的增大, 4种酸奶的 G' 及 G'' 值都呈增加的趋势, 且 G' 值均高于 G'' , 表明样品中弹性成分占优势, 呈类固体的特征。此外, 在4种酸奶中, 全乳脂酸奶的 G' 及 G'' 值最高, 脱脂酸奶的 G' 及 G'' 值最低, 而2个添加火麻仁油的酸奶其 G' 和 G'' 值较为接近, 介于脱脂酸奶

和全乳脂酸奶之间, 表明油脂的含量对酸奶的粘弹性影响较大。酸奶是酸促凝乳的典型代表, 其基本结构单位为酪蛋白胶束, 脂肪球在脂肪球膜蛋白的包裹下被“锁入”酪蛋白所形成的凝胶结构中, 从而直接影响酸奶的组织状态和口感。最近, Singh等^[11](2014年)以脱脂酸奶和全乳脂酸奶为对照研究了淀粉-油酸包合物对脱脂酸奶品质的影响, 也呈现出与本研究类似的效果, 即脂肪含量高的全乳脂酸奶拥有最高的弹性模量 G' 和粘性模量 G'' , 添加3%、2%和1%的淀粉-油酸包合物的酸奶其粘弹性依次下降, 不含脂肪的脱脂酸奶粘弹性最低, 表明火麻仁油和淀粉-油酸包合物都能够与蛋白质相互作用, 起到与乳脂肪类似的作用。

2.2.2 剪切扫描

本研究采用Herschel-Bulkley模型分析火麻仁油酸奶下行线的流变参数。如表3所示, 4种样品的R值均高于0.99, 说明该模型能够很好地拟合火麻仁油酸奶在降速剪切时的流变特性。从表中数据可知, 全乳脂酸奶和3.0%火麻仁油酸奶在屈服应力 τ_0 、稠度系数 κ 、流动行为指数 n 、粘度 η_{50} 及滞后回路面积HL等方面均无显著性差异, 这可能与其油脂含量相近有关; 此外, 除流动行为指数外, 这两个样品的屈服应力、稠度系数、粘度及滞后回路面积还显著高于1.5%火麻仁油酸奶及脱脂酸奶的数值, 这应与其油脂含量最高有关。通常由于脂肪球和蛋白质基质的交互作用, 脂肪质量分数高的酸奶其粘度也比较高^[10-11]。

表3 Herschel-Bulkley模型分析火麻仁油酸奶下行线的流变参数

Table 3 Rheological parameters of solidifying yoghurt supplemented with hemp seed oil using the Herschel-Bulkley model (n=3)

	τ_0/Pa	$\kappa/(\text{Pa s}^n)$	n	$\eta_{50}/(\text{Pa s})$	$\text{HL}/(\text{Pa/s})$	R
SMY	10.03±0.24 ^c	0.21±0.04 ^c	0.80±0.01 ^a	0.36±0.05 ^c	7661.5±485.1 ^c	0.995
1.5% HMY	15.40±0.39 ^b	0.42±0.13 ^b	0.69±0.07 ^b	0.54±0.01 ^b	10739±1041.5 ^b	0.996
3.0% HMY	20.45±0.53 ^a	0.96±0.10 ^a	0.63±0.09 ^c	0.79±0.07 ^a	16435.0±1305.1 ^a	0.993
WMY	21.17±0.21 ^a	0.93±0.03 ^a	0.62±0.04 ^c	0.79±0.04 ^a	16383.5±665.2 ^a	0.993

注: τ_0 =屈服应力, κ =稠度系数, n =流动行为指数, HL=滞后面积(Hysteresis Loop area), η_{50} =在50 s⁻¹的剪切速率下的表观粘度, R=相关系数; 同行或同列不同字母表示有显著性差异 (p<0.05)。

2.3 火麻仁油酸奶的微观结构

图2为火麻仁酸奶的激光共聚焦扫描显微图片。由图可知, 所有的酸奶样品都呈现出相对均匀和多孔隙的蛋白质(红色)网络结构, 而脂肪球(绿色)均匀分散其中, 随着油脂含量的增加, 酸奶的微观结构变得更加致密(见WMY和3.0%HMY), 这与上述酸奶的持水力、流变学性质是一致的。通常在天然的牛奶中, 脂肪球有大小之分, 并可通过微孔过滤的方

法将其按大小进行分离^[12], 但全乳脂牛奶在经过高压微射流均质后, 脂肪球被强大的机械作用力打碎, 直径变小, 与此同时酪蛋白的结构也同样遭到一定程度的破坏, 内部的疏水基团暴露并覆盖到脂肪球上, 使脂肪球有些像酪蛋白胶粒并在激光共聚焦显微照片中呈现出两者交融的黄色^[7]。本文中全乳脂酸奶也有类似的效果(图2中WMY), 但3%火麻仁油酸奶的这种相互作用要弱一些, 应与油脂的种类有关。

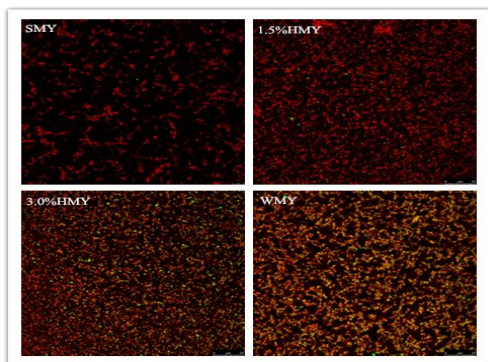


图 2 火麻仁油酸奶的激光共聚焦扫描照片

Fig.2 Confocal laser scanning micrographs of solidifying yoghurt supplemented with hemp seed oil

2.4 火麻仁油酸奶的挥发性风味成分

图 3 是 4 种酸奶挥发性风味成分的总离子图谱, 表 4 是解析后的挥发性风味成分。从表中数据可知, 脱脂酸奶和全乳脂酸奶的挥发性成分比较接近, 均检出 16 种成分, 由酮、酸、醇、醛、酯类组成, 而从火麻仁油酸奶中检测出了更多的挥发性成分, 其中 1.5% 的火麻仁油酸奶中检出 22 种香气成分, 3.0% 的火麻仁油酸奶中检出 25 种香气成分, 主要由酮、酸、醇、醛、酯类以及烯类构成。烯类物质只出现在添加了火麻仁油的酸奶中, 以石竹烯、D-柠檬烯、 β -月桂烯为主, 这与火麻仁精油的检测结果一致^[13], 表明烯类物质主要来自于火麻仁油。在所有的样品中, 均检测到了酸奶的特征性香气成分 3-羟基-2-丁酮和 2, 3-丁二酮, 不过, 这 2 种成分在全乳脂酸奶中的含量更为丰富, 分别达到了 7.17% 和 3.13%, 比脱脂酸奶中的含量多 1 倍, 而火麻仁油酸奶中的含量最低。

2.5 火麻仁油酸奶的感官特性

表5是火麻仁油酸奶的感官评价结果。从气味方面来看, 脱脂酸奶和3.0%火麻仁油酸奶的评分最低, 原因是品尝者认为脱脂酸奶气味寡淡, 而添加了3.0%火麻仁油的酸奶又异味太重, 1.5%的火麻仁油酸奶与全乳脂酸奶没有显著性差异; 从外观上来看, 因为经过了微射流均质处理, 所有样品凝胶结构均匀一致、表面光滑且无乳清析出, 评分均没有显著性差异; 从滋味方面来看, 3.0%火麻仁油酸奶的评分最低, 其次是脱脂酸奶, 1.5%的火麻仁油酸奶相对较好, 兼有适当火麻仁油的甘甜味和酸牛奶的清爽滋味, 其评分与全乳脂酸奶相比没有显著性差异; 从质构方面来看, 脱脂酸奶评分最低, 全乳脂酸奶评分最高, 这与前面的持水力、流变学性质、微观结构等高度一致, 但3.0%

火麻仁油酸奶的质构评分明显低于1.5%火麻仁油酸奶及全乳脂酸奶的评分是与其持水力和流变学性质不一致的, 这可能是感官评价时受到了火麻仁油明显异味的干扰所致。

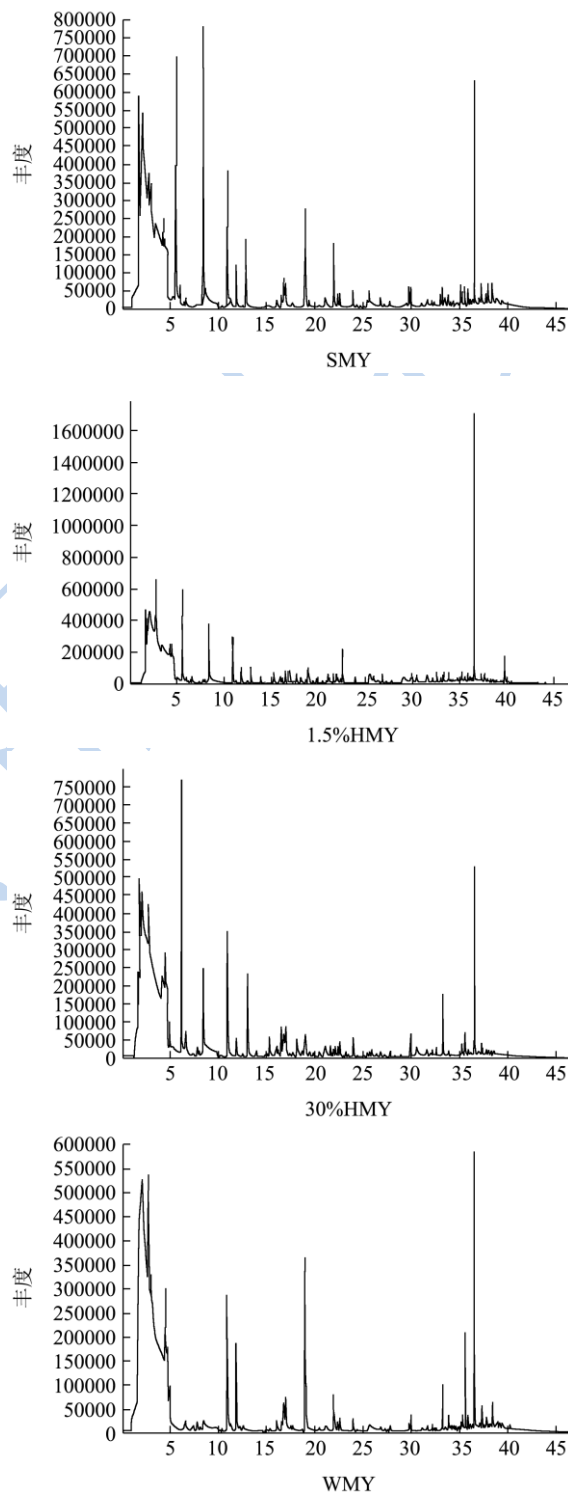


图 3 火麻仁油酸奶挥发性成分的总离子流图谱

Fig.3 Total ion chromatogram of aroma components of solidifying yoghurt supplemented with hemp seed oil

表4 火麻仁油酸奶的挥发性风味成分

Table 4 Volatile components in solidifying yoghurt supplemented with hemp seed oil

化合物名称	保留时间/min	相对百分含量/%			
		SMY	1.5% HMY	3.0% HMY	WMY
甲基乙缩醛	20.31	-	1.61	0.58	-
(E)-2-庚烯醛	27.46	-	1.84	1.67	-
壬醛	32.19	-	4.42	3.22	-
己醛	34.80	0.13	0.33	-	0.98
糠醛	30.72	1.05	-	0.89	1.99
戊醛	37.46	0.56	-	0.43	0.78
9-癸烯醛	30.69	0.25	0.26	0.33	0.55
β-月桂烯	5.73	-	0.78	0.56	-
石竹烯	14.88	-	7.01	5.67	-
D-柠檬烯	6.59	-	2.21	2.01	-
(Z)-环癸烯	8.24	-	-	1.47	-
反式癸二烯	11.63	-	0.92	-	-
2-戊酯	12.62	10.71	7.85	6.45	10.68
丁酸乙酯	14.79	0.23	0.88	0.93	0.56
氨基甲酸甲酯	20.15	-	-	0.82	0.77
棕榈酸乙酯	27.35	-	4.27	3.77	-
乙酸丁酯	18.97	11.25	7.59	11.26	10.14
2-庚酮	19.75	3.82	2.26	0.89	-
3-羟基-2-丁酮	25.86	3.15	2.19	2.14	7.17
2-丁酮	8.43	0.33	0.51	0.24	0.45
2,4-戊二酮	14.29	-	-	3.6	1.15
2,3-丁二酮	10.95	1.74	1.01	1.65	3.33
1-辛烯-3-醇	31.19	-	2.87	3.76	-
2-乙基-1-己醇	32.47	3.87	-	-	9.07
1-壬醇	24.61	-	1	-	-
1-己醇	27.55	3.79	-	-	9.17
1-辛醇	29.64	-	1.57	1.89	-
乙酸	31.54	1.93	-	-	-
戊酸	37.72	0.32	-	-	0.54
乙二酸	35.61	4.89	7.35	11.86	5.15
肉豆蔻酸	32.56	-	1.42	2.37	-
安息香酸	34.78	-	3.55	4.04	-

综合而言，添加1.5%火麻仁油的酸奶其总体可接受性最高。Pereira (2006年)和Tomaschunas (2012年)先后应用主成分分析的方法详细地研究了脂肪含量以及蛋白含量等对酸奶滋味的影响，前者的研究结果显示，当总固形物含量高(18%)的时候，增加脂肪含量对酸奶的口感影响不大，但当总固形物较低(14%)的时候，随着脂肪含量的增加酸奶的总体可接受性明显提高，凝胶变得更加结实、有粘性及奶油感；而后者

的研究也有类似的结论，即酸奶的奶油的滋味和质地、表观的和内在的粘性以及脂肪的口感均随着脂肪含量(0.5%~12%)、蛋白含量(3.5%~6.0%)的增加而增加，同时也随着酪蛋白和乳清蛋白比例的增加而增加，由此可见，脂肪含量对酸奶的滋味影响很大，这也是目前大量开发脂肪替代品^[4,11]以弥补脱脂酸奶以及低脂奶酪在口感上缺陷的主要原因。但从本研究的结果来看，采用天然植物来源的功能性油脂作为乳脂肪的替代品也能取得良好的效果，其中较低含量的油脂如1.5%的火麻仁油应用到酸奶中就能取得与全乳脂酸奶相似的品质，值得进一步研究。

表5 火麻仁油酸奶的感官评价

Table 5 Sensory evaluation of solidifying yoghurt supplemented with hemp seed oil

样品	气味	外观	滋味	质构	总体接受性
SMY	5.7±0.1 ^b	7.7±0.0 ^a	6.3±0.1 ^b	4.9±0.1 ^b	6.7±0.4 ^b
1.5% HMY	7.7±0.1 ^a	7.7±0.1 ^a	7.6±0.1 ^a	6.0±0.5 ^a	7.7±1.1 ^a
3.0% HMY	5.8±0.1 ^b	7.8±0.1 ^a	5.2±0.1 ^c	4.7±0.2 ^c	6.4±1.3 ^b
WMY	7.9±0.0 ^a	7.8±0.0 ^a	7.3±0.0 ^a	6.1±0.1 ^a	7.7±0.4 ^a

注：同行或同列不同字母表示有显著性差异 (p<0.05)。

3 结论

通过向脱脂奶中添加火麻仁油并经 50 Mpa 高压微射流处理，发酵后制得的火麻仁油酸奶其酸度值、持水力以及流变学性质与脱脂酸奶相比均有不同程度的改善，其中 1.5%的火麻仁油酸奶的可滴定酸度值为 97 °T、持水力为 85%、屈服应力 τ₀ 为 15 Pa、表观粘度 η₅₀ 为 0.54 Pa s，口感与全乳脂酸奶十分接近，此外，火麻仁油酸奶的挥发性香气成分更丰富，既含有酸奶的特征性香气成分 3-羟基-2-丁酮和 2,3-丁二酮，也含有火麻仁油的特征性成分石竹烯、D-柠檬烯和 β-月桂烯，总体可接收度最高。表明只要经过恰当的处理，天然的、植物来源的功能性油脂也可以替代乳脂肪获得风味良好的酸奶产品。

参考文献

[1] <http://en.wikipedia.org/wiki/Hemp>
 [2] Paz S, Marín-Aguilar F, García-Giménez M, et al. Hemp (Cannabis sativa L.) seed oil: analytical and phytochemical characterization of the unsaponifiable fraction [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62: 1105-1110
 [3] Prescha A, Grajzer M, Dedyk M. The antioxidant activity and oxidative stability of cold-pressed oils [J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 2014, 91: 1291-1301
 [4] Romeih EA, Abdel-Hamid M, Awad AA. The addition of

- buttermilk powder and transglutaminase improves textural and organoleptic properties of fat-free buffalo yogurt [J]. Dairy Science and Technology, 2014, 94: 297-309
- [5] 彭玲. 柏子仁脂肪油酸奶发酵工艺和功效研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(18): 21-23
- [6] Lane K, Li W, Smith C, et al. The bioavailability of an omega-3-rich algal oil is improved by nanoemulsion technology using yogurt as a food vehicle [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2014, 49: 1264-1271
- [7] Ciron C, Gee L, Kelly A, et al. Comparison of the effects of high-pressure microfluidization and conventional homogenization of milk on particle size, water retention and texture of non-fat and low-fat yoghurts [J]. International Dairy Journal, 2010, 20: 314-320
- [8] 杨媚. 应用萌发大豆制备益生菌发酵豆乳的研究[D]. 广州, 华南理工大学, 2011
- YANG Mei. The study on probiotic fermented soymilk prepared from germinated soybean [D]. Guangzhou, South China University of Technology, 2011
- [9] 牛云蔚, 肖作兵, 张喆, 等. 不同品牌酸奶香气成分研究. 粮食与油脂, 2013, 26(9): 49-52
- NIU Yun-wei, XIAO Zuo-bing, ZHANG Zhe, et al. Study on aroma compounds of yogurt of different brands [J]. Food and Oil, 2013, 26(9): 49-52
- [10] Pereira R, Matia-Merino L, Jones V, et al. Influence of fat on the perceived texture of set acid milk gels: a sensory perspective [J]. Food Hydrocolloids, 2006, 20: 305-313
- [11] Singh M, Byars JB, Kenar JA. Amylose-potassium oleate inclusion complex in plain set-style yogurt [J]. Journal of Food Science, 2014, 79(05): 822-827
- [12] Michalski M. Native vs damaged milk fat globules: membrane properties affect the viscoelasticity of milk gel [J]. Journal of Dairy Science, 2002, 85: 2451-2461
- [13] 李文峰, 方国珊, 戴煌, 等. 分子蒸馏/气相色谱-质谱法分析大麻仁精油挥发性组分. 中国粮油学报, 2012, 27(8): 113-118
- LI Wen-feng, FANG Guo-shan, DAI Huang, et al. Analysis of essential oil volatile composition of cannabis sativa l. by molecular distillation extraction combined with GC-MS [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(8): 113-118
- [14] Tomaschunas M, Hinrichs J, Köhn E, et al. Effects of casein-to-whey protein ratio, fat and protein content on sensory properties of stirred yoghurt [J]. International Dairy Journal, 2012, 26: 31-35