

液态乳及乳粉脂肪酸指纹工业特征分析

贾佳, 郭军*, 李琪, 郭珍琪

(内蒙古农业大学食品科学与工程学院 呼和浩特 010018)

摘要 乳及乳制品的脂肪酸(FAs)构成模式,即 FAs 指纹,不仅受物种来源、自然地理和气候环境决定或影响,还与家畜饲养方式、原乳质量、加工类型、加工标准和工艺参数等人为和工业因素有关。目前尚未提出乳制品“工业指纹”概念,也缺乏相应系统的研究。采集荷斯坦牛、牦牛和山羊原乳、超高温灭菌(UHT)乳和乳粉样品 200 份,采用气相色谱法测定 FAs,按照①加工类型;②UHT处理;③厂家/品牌;④液态乳品类(品系)和⑤饲养模式 5 类工业因素,对 FA 单指标和 FAs 多指标整体进行统计比较,通过主成分分析(PCA)观察样品的 FAs 指纹自然聚类情况。结果表明,多数 FA 在 5 类研究中都存在显著差异,而配伍方差和配对 t 检验 FAs 差异都不显著,说明传统统计不能区分 FAs 模式复杂的整体改变。PCA 分析样品的自然聚类与各加工处理、品牌品类及饲养模式一致,说明各工业因素对乳品 FAs 指纹都有特征性和模式化的影响。有望利用 FAs 指纹实现乳品生产加工方式、厂家品牌及品类等级等的区分,市售乳品完整性和真实性判别,奶畜科学饲养及功能性特色乳品研发效果多指标大数据的可视化评价。

关键词 脂肪酸; 液态乳; 乳粉; 工业指纹; UHT; 聚类分析; 品牌

文章编号 1009-7848(2022)09-0226-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.09.024

乳及乳制品脂肪酸(Fatty Acids, FA, FAs)构成模式(本文称 FAs 指纹)的决定和影响因素较多,包括动物来源物种、品系、自然地理和气候条件等自然因素;生产和加工等人造的工业影响因素(工业因素),还包括家畜的饲养模式、标准及水平,乳品生产者/厂家和品牌,以及加工方法、品类(品系)、加工标准和工艺参数等因素^[1-4]。目前自然因素和饲养模式对乳 FAs 影响的报道较多,热处理对牛乳 FAs 影响也有研究^[5]。尚无针对乳制品生产加工方式、厂家品牌、品类档次等工业因素对 FAs 模式及其它营养素组系统或综合的研究报道,尚未提出乳品营养和品质“工业特征”和“工业指纹”概念。郭军团队近年来一直关注乳和肉等地区优势特色食物营养素、品质^[6-7]及光谱^[8]和质谱^[9-10]等指纹特征,发现乳品营养和物性指纹受复杂的自然和人为诸多因素决定或影响^[2,11-12],UHT 液态乳 FAs 种类含量构成存在厂家品牌差异^[12]。自然因素方面,郭军等^[1]、李磊等^[3]、郭珍琪^[11]、李文斐等^[14]和刘宇婷等^[9]发现不同动物乳 FAs 和甘油三酯

(TAGs)构成不同,甚至存在物种分类学规律,似乎不受基因决定的乳 FAs 构成也有显著的物种特异性。饲养模式方面,Collomb 等^[13]发现瑞士普通牛奶的多不饱和脂肪酸(PUFA)、亚麻酸和共轭亚油酸(CLA)显著低于有机牛乳。张克春等^[15]发现放牧牛乳的 PUFA 高于拴系饲养牛乳,表明饲养模式对乳 FAs 有影响。Bork 报道饲料中加入亚麻籽后牛乳 α -亚麻酸显著升高^[15],张鑫^[12]报道夏秋牛乳 PUFA 显著高于冬春季,说明饲料/饲草成分和季节等因素对乳 FAs 构成有影响。实际上家畜肉 FAs 也存在显著的物种、饲养模式及地理和季节等规律^[17-21]。热处理作用方面,UHT 处理可使 SFA 和 PUFA 显著的增、减,而多数 FA 的变化不大,变化不具显著营养学意义。Herzallah 等^[22]和侯俊财等^[23]分别报道 UHT 处理后 CLA 显著减少。刘仕军等^[24]报道 UHT 乳单不饱和脂肪酸(MUFA)和 n-6 系 PUFA 比原乳减少 6.93%和 5.65%。Costa 等^[25]发现经巴氏杀菌(75 °C、15 s)和 UHT(140 °C、6 s)两次处理后有 21 种 FAs 减少,两次热处理对乳 FAs 影响较大。

总之,对乳 FAs 决定和影响因素研究虽较多,但不够系统,尤其各种工业因素对乳品 FAs 指纹模式的影响,即 FAs“工业指纹”模式或模型研究不够系统,譬如不同厂家生产的 UHT 牛乳是否存

收稿日期: 2021-09-21

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目
(31760489)

作者简介: 贾佳(1996-),女,硕士生

通信作者: 郭军 E-mail: guojunge@imau.edu.cn

在营养素和品质指纹差异,进口乳制品感官和营养属性是否比国产的好等。在数据解析方面,多数报道采用传统描述性统计和差异检验,没有引入聚类分析、分类分析、模式分析和判别分析等化学计量学多变量统计策略、原理和方法,因此实际上是单变量分析或是对多个变量的孤立分析,无法观察多指标数据集隐藏的模式或趋势。本研究旨在对UHT液态乳及乳粉FAs指纹的“工业特征”展开分析,探讨人为饲养及生产加工,或产品开发的商业定位等因素对液态乳及乳粉FAs指纹的影响,以期为乳及其它食品营养素组和品质指标集拓展进行深入研究,为食品完整性和真实性判别及追溯提供新的分析方法。

1 材料与方法

1.1 样品

采集荷斯坦牛(牛)、牦牛和山羊原乳、UHT乳和乳粉代表性样品200份,分析5类生产加工和家畜饲养等工业因素对FAs的影响。

荷斯坦牛(Holstein cow)原乳60份,包括有机原乳28份,非有机(普通)原乳32份,采自国内A和B两个乳品企业的13个有机和非有机饲养牧场,地域范围包括锡林郭勒、呼和浩特和巴彦淖尔,时段为7月至10月夏、秋季节;荷斯坦牛UHT液态乳40份,包括A、C两个乳品企业品牌,A品牌包括4个品类(价格档次)产品;全脂乳粉(无其它添加)18份,包括16个国内外乳品企业品牌,购自超市和专营店,包括大包工业乳粉和小零售包装乳粉。另外,UHT热处理试验乳样品由内蒙古农业大学食品学院益得乳品厂提供,共6批次。于 $(125\pm 2)^{\circ}\text{C}$,2 s UHT热处理前、后分别取样,共计12份。

麦洼牦牛(Maiwa yak)原乳21份,采自四川省阿坝县15份,四川红原县6份;牦牛UHT液态乳14份,包括D品牌9份和E品牌5份;牦牛乳粉5份,其中全脂牦牛乳粉包括5个品牌各1份,购自超市或专营店。

萨能山羊(Saanen goat)原乳6份,采自鄂尔多斯市乌审旗;山羊UHT液态乳15份,F、G和H3个国内厂家/品牌各5份;山羊全脂羊乳粉9份,包括8个国内品牌,购自超市和专营店。

原乳现场液氮迅速降温,于 -18°C 冷冻保藏运输;UHT液态乳室温存放。

1.2 试剂和标准品

甲醇(色谱纯),北京迈瑞达科技有限公司产品;正庚烷、三氟化硼甲醇(色谱纯),上海麦克林生化科技有限公司产品;十一碳酸甘油三酯标准品、37组分脂肪酸甲酯混合标准品,美国SIGMA公司产品。

1.3 仪器、设备

福立FL-9720型气相色谱仪、氢火焰离子检测器(FID),浙江福立分析仪器有限公司;T18均质机、旋转蒸发仪RV8,德国IKA;JG-HH-S26数显恒温水浴锅,济南精城实验仪器有限公司。

1.4 检测方法

参照GB 5009.168-2016食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定^[20]中碱水解提取法,对乳样脂肪酸进行测定,每个样品做2个平行测定。

色谱条件和FAs计算:毛细管柱型号为SP-2560(100 m \times 0.25 mm,0.20 μm);使用程序升温:初温 100°C ,保持5 min,以 $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 240°C ,保持30 min;进样口温度 260°C ;检测器温度 260°C ;载气:高纯氮气;分流式进样;分流比20:1;进样体积:1.0 μL 。福立FL9720气相色谱工作站分析FA色谱图,内标法计算脂肪酸含量。选取含量0.5(g/100 g乳脂肪)以上的16种FAs用于分析,计算饱和脂肪酸(Saturated Fatty Acids, SFA)、单不饱和脂肪酸(Monounsaturated Fatty Acids, MUFA)、多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated Fatty Acids, PUFA)、反式脂肪酸(Trans-Fatty Acids, TFA),以及n-3和n-6(ω -3和 ω -6)等复合指标。

1.5 统计分析

用IBM-SPSS 23.0对FAs数据进行描述性统计比较和差异检验。结果以 $\bar{x} \pm s$ (g/100 g乳脂肪)及差异比值表示(如有机与非有机乳FAs比值,1.0以上为增加,1.0以下为减少)。对每种FA在各分类间的差异进行单因素方差分析或独立样本t检验,即FA单指标比较;对FA在各分类间的整体差异进行FA均值的配伍方差分析或配对样本t检验,即试图以经典统计方法观测FAs构成在各分类间的整体差异。

对FAs构成(FAs指纹)进行主成分分析

(PCA),观察乳样以 FAs 指纹自然聚类的特征。

分类变量包括 ① 加工类型(原乳、UHT 乳和乳粉);② UHT 处理;③ 厂家/品牌;④ 液态乳品类(4 种档次 UHT 乳)和 ⑤ 饲养模式。

主成分分析 (Principal component analysis, PCA)采用化学计量学软件 Pirouette 4.5(美国 Infometrix 公司),观察样品在三维(3D)空间自然分布/聚类的特征,分析分类特征 FAs。数据进行必要的前处理,以挖掘 FAs 指纹隐藏模式规律,获得较好的聚类效果,主要有 Autoscale(均值方差化)和 Mean-center(均值中心化变换)。

2 结果与分析

2.1 UHT 乳和乳粉两种加工类型乳制品的 FAs 指纹特征

荷斯坦牛、牦牛,山羊的原乳、UHT 乳和乳粉 FAs 统计结果见表 1。多数 FA 单因素方差分析差

异显著($P<0.05$),除 $n-3$ PUFA 和 α -亚麻酸(α -C18:3n3) 在 UHT 乳和乳粉中大幅下降外,多数 FA 绝对和相对差异都不大;个别 FA 差异极显著($P<0.01$)或不显著($P>0.05$);配伍方差分析,3 个动物原乳、UHT 乳和乳粉 FAs 总均值都无显著差异($P>0.05$),提示加工后 FAs 增或减不存在平行性和一致性,说明传统差异检验不能区分加工乳 FAs 复杂的整体改变。

PCA 结果,牛、牦牛和山羊乳在空间投射点自然聚类(图 1a、图 2a 和图 3a)的分离或分离趋势符合 3 种分类,而空间分布位置不一致,说明加工使乳制品 FAs 指纹不同,且有普遍性,提示 3 种动物乳生产加工中 FAs 构成不完全一致。

PCA 载荷图(图 1b、图 2b 和图 3b)结合描述性统计(表 1)分析,对原乳、UHT 乳和乳粉区分贡献大的 FAs 有: α -C18:3n3,在 3 种动物原乳中显著的高;C16:0 在 3 种 UHT 乳中显著的高;3 种乳

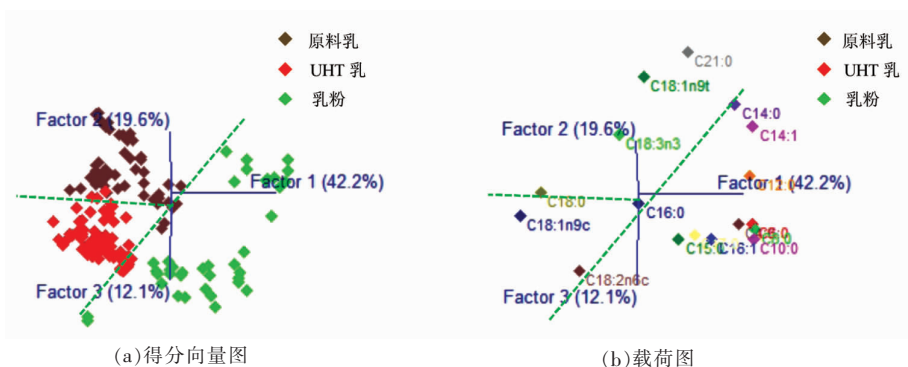


图 1 牛原乳、UHT 乳及乳粉 FAs 指纹 PCA 分析

Fig.1 PCA on FAs fingerprint of cow raw milk, UHT milk and milk powder

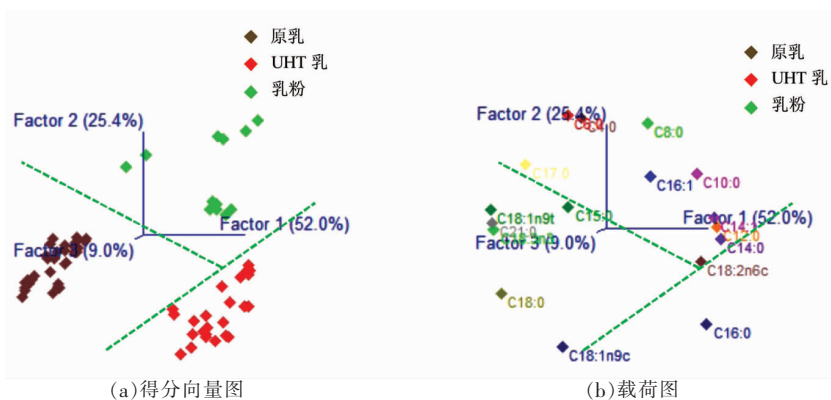


图 2 牦牛原乳、UHT 乳和乳粉 FAs 指纹 PCA 分析

Fig.2 PCA on FAs fingerprint of yak raw milk, UHT milk and milk powder

表 1 3 种动物原乳、液态乳及乳粉 FAs 描述性统计结果 (g/100 g)

	Table 1 Descriptive statistics on FAs of three animal's raw milk, liquid milk and milk powder (g/100 g)													
	荷斯坦牛						牦牛						山羊	
	原乳 (N=25)	UHT 乳 (N=40)	乳粉 (N=18)	原乳 (N=21)	UHT 乳 (N=14)	乳粉 (N=5)	原乳 (N=6)	UHT 乳 (N=15)	乳粉 (N=9)	原乳 (N=6)	UHT 乳 (N=15)	乳粉 (N=9)		
SFA	60.28 ± 2.01 ^b	61.42 ± 3.90 ^b	63.01 ± 4.62 ^a	56.42 ± 3.09 ^b	62.69 ± 2.55 ^a	62.15 ± 2.84 ^a	64.14 ± 2.79 ^a	61.91 ± 2.74 ^b	64.05 ± 1.86 ^a	64.14 ± 2.79 ^a	61.91 ± 2.74 ^b	64.05 ± 1.86 ^a		
MUFA	22.91 ± 0.97 ^c	23.96 ± 2.29 ^b	24.59 ± 3.23 ^a	21.02 ± 2.27 ^b	21.26 ± 2.36 ^b	25.04 ± 2.29 ^a	19.33 ± 2.10 ^c	21.41 ± 2.93 ^b	23.36 ± 1.89 ^a	19.33 ± 2.10 ^c	21.41 ± 2.93 ^b	23.36 ± 1.89 ^a		
PUFA	3.20 ± 0.83	3.38 ± 1.31	3.46 ± 1.79	2.55 ± 0.70 ^b	2.74 ± 1.13 ^b	3.78 ± 0.92 ^a	2.39 ± 0.58 ^c	2.90 ± 0.97 ^b	4.10 ± 0.58 ^a	2.39 ± 0.58 ^c	2.90 ± 0.97 ^b	4.10 ± 0.58 ^a		
TFA	2.69 ± 0.40 ^b	2.31 ± 0.86 ^b	2.53 ± 1.01 ^a	5.55 ± 1.59 ^a	1.77 ± 0.79 ^c	4.02 ± 1.71 ^b	2.05 ± 0.48 ^b	2.18 ± 1.35 ^b	2.88 ± 0.67 ^a	2.05 ± 0.48 ^b	2.18 ± 1.35 ^b	2.88 ± 0.67 ^a		
n-3	0.41 ± 0.17 ^a	0.33 ± 0.19 ^b	0.33 ± 0.26 ^b	1.28 ± 0.39 ^a	0.32 ± 0.18 ^c	0.62 ± 0.24 ^b	0.79 ± 0.29 ^a	0.41 ± 0.38 ^b	0.39 ± 0.24 ^b	0.79 ± 0.29 ^a	0.41 ± 0.38 ^b	0.39 ± 0.24 ^b		
n-6	2.79 ± 0.70 ^b	2.94 ± 1.21 ^a	2.78 ± 1.69 ^b	1.27 ± 0.34 ^c	2.42 ± 1.01 ^b	2.79 ± 0.92 ^a	1.60 ± 0.30 ^c	2.49 ± 1.24 ^b	3.28 ± 0.57 ^a	1.60 ± 0.30 ^c	2.49 ± 1.24 ^b	3.28 ± 0.57 ^a		
C4:0	1.08 ± 0.20 ^c	1.19 ± 0.65 ^b	1.61 ± 0.33 ^a	1.16 ± 0.22 ^b	0.82 ± 0.28 ^c	1.67 ± 0.17 ^a	0.86 ± 0.15 ^c	0.96 ± 0.28 ^b	1.24 ± 0.19 ^a	0.86 ± 0.15 ^c	0.96 ± 0.28 ^b	1.24 ± 0.19 ^a		
C6:0	1.03 ± 0.10 ^c	1.12 ± 0.56 ^b	1.49 ± 0.26 ^a	1.14 ± 0.17 ^b	0.81 ± 0.22 ^c	1.48 ± 0.21 ^a	1.21 ± 0.1 ^b	0.96 ± 0.19 ^c	1.59 ± 0.24 ^a	1.21 ± 0.1 ^b	0.96 ± 0.19 ^c	1.59 ± 0.24 ^a		
C8:0	0.70 ± 0.05 ^c	0.75 ± 0.34 ^b	0.97 ± 0.19 ^a	0.57 ± 0.1 ^b	0.56 ± 0.16 ^b	1.04 ± 0.23 ^a	1.71 ± 0.09 ^b	0.98 ± 0.53 ^c	2.19 ± 0.42 ^a	1.71 ± 0.09 ^b	0.98 ± 0.53 ^c	2.19 ± 0.42 ^a		
C10:0	1.87 ± 0.17 ^b	2.05 ± 0.82 ^b	2.56 ± 0.52 ^a	1.23 ± 0.26 ^c	1.75 ± 0.46 ^b	2.54 ± 0.97 ^a	7.50 ± 0.78 ^a	3.78 ± 3.2 ^b	7.98 ± 1.84 ^a	7.50 ± 0.78 ^a	3.78 ± 3.2 ^b	7.98 ± 1.84 ^a		
C12:0	2.63 ± 0.29 ^b	2.91 ± 1.41 ^b	3.55 ± 1.80 ^a	1.07 ± 0.26 ^b	2.58 ± 0.61 ^a	3.03 ± 1.81 ^a	4.08 ± 0.8 ^a	3.04 ± 1.32 ^b	4.06 ± 0.65 ^a	4.08 ± 0.8 ^a	3.04 ± 1.32 ^b	4.06 ± 0.65 ^a		
C14:0	10.62 ± 0.60 ^a	9.96 ± 1.64 ^b	10.54 ± 2.15 ^a	6.04 ± 0.97 ^b	9.29 ± 1.35 ^c	9.67 ± 2.71 ^a	8.54 ± 1.46 ^b	8.99 ± 1.83 ^b	9.47 ± 1.19 ^a	8.54 ± 1.46 ^b	8.99 ± 1.83 ^b	9.47 ± 1.19 ^a		
C15:0	0.90 ± 0.22 ^b	1.04 ± 0.17 ^a	1.06 ± 0.22 ^a	1.22 ± 0.17 ^a	1.09 ± 0.40 ^b	1.10 ± 0.20 ^b	1.08 ± 0.26 ^a	0.89 ± 0.20 ^b	0.83 ± 0.09 ^c	1.08 ± 0.26 ^a	0.89 ± 0.20 ^b	0.83 ± 0.09 ^c		
C16:0	29.02 ± 2.31 ^b	30.3 ± 3.15 ^a	29.74 ± 2.54 ^b	24.79 ± 2.99 ^c	31.74 ± 2.85 ^a	26.91 ± 4.02 ^b	24.75 ± 2.03 ^b	29.59 ± 3 ^a	25.33 ± 2.92 ^b	24.75 ± 2.03 ^b	29.59 ± 3 ^a	25.33 ± 2.92 ^b		
C17:0	0.52 ± 0.06	0.56 ± 0.15	0.61 ± 0.14	0.70 ± 0.11 ^a	0.52 ± 0.11 ^b	0.7 ± 0.14 ^a	0.67 ± 0.1 ^b	0.49 ± 0.08 ^c	0.74 ± 0.11 ^a	0.67 ± 0.1 ^b	0.49 ± 0.08 ^c	0.74 ± 0.11 ^a		
C18:0	10.68 ± 1.22 ^a	10.5 ± 1.97 ^a	9.68 ± 1.93 ^b	15.73 ± 3.36 ^a	12.49 ± 3.48 ^b	12.2 ± 2.92 ^b	11.05 ± 2.05 ^a	10.84 ± 3.41 ^a	9.36 ± 1.92 ^b	11.05 ± 2.05 ^a	10.84 ± 3.41 ^a	9.36 ± 1.92 ^b		
C14:1	0.84 ± 0.12 ^b	0.78 ± 0.37 ^c	0.99 ± 0.37 ^a	0.24 ± 0.06 ^c	0.59 ± 0.18 ^b	0.76 ± 0.33 ^a	0.1 ± 0.04 ^b	0.44 ± 0.38 ^a	0.19 ± 0.15 ^b	0.1 ± 0.04 ^b	0.44 ± 0.38 ^a	0.19 ± 0.15 ^b		
C16:1	1.16 ± 0.20 ^c	1.41 ± 0.48 ^b	1.62 ± 0.56 ^a	1.11 ± 0.39 ^b	1.19 ± 0.21 ^b	1.55 ± 0.64 ^a	0.59 ± 0.11 ^b	1.01 ± 0.35 ^a	0.99 ± 0.15 ^c	0.59 ± 0.11 ^b	1.01 ± 0.35 ^a	0.99 ± 0.15 ^c		
C18:1n9t	2.46 ± 0.36 ^c	2.03 ± 0.79 ^c	2.18 ± 0.96 ^b	5.53 ± 1.59 ^a	1.76 ± 0.79 ^c	3.66 ± 1.69 ^b	2.04 ± 0.48 ^b	2.17 ± 1.34 ^{ab}	2.44 ± 0.64 ^a	2.04 ± 0.48 ^b	2.17 ± 1.34 ^{ab}	2.44 ± 0.64 ^a		
C18:1n9c	20.29 ± 0.95 ^b	20.45 ± 3.20 ^a	19.00 ± 3.93 ^c	19.25 ± 2.29 ^a	19.17 ± 2.51 ^a	18.23 ± 3.07 ^b	18.21 ± 2.10 ^b	19.65 ± 2.88 ^a	19.08 ± 1.85 ^{ab}	18.21 ± 2.10 ^b	19.65 ± 2.88 ^a	19.08 ± 1.85 ^{ab}		
C18:2n6c	2.44 ± 0.70 ^b	2.64 ± 1.22 ^a	2.56 ± 1.78 ^{ab}	1.03 ± 0.29 ^b	2.18 ± 0.93 ^a	2.46 ± 1.22 ^a	1.43 ± 0.24 ^c	2.3 ± 1.21 ^b	3.12 ± 0.57 ^a	1.43 ± 0.24 ^c	2.3 ± 1.21 ^b	3.12 ± 0.57 ^a		
α-C18:3n3	0.34 ± 0.15 ^a	0.27 ± 0.15 ^b	0.27 ± 0.18 ^b	1.18 ± 0.35 ^a	0.29 ± 0.18 ^c	0.46 ± 0.26 ^b	0.71 ± 0.31 ^a	0.39 ± 0.36 ^b	0.30 ± 0.12 ^b	0.71 ± 0.31 ^a	0.39 ± 0.36 ^b	0.30 ± 0.12 ^b		

注: 每种动物原乳与 UHT 乳和乳粉两种加工乳制品, 每种 FA 单因素方差分析, 标注不同小写字母表示差异显著或极显著 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$); 3 种动物原乳与其两种加工产品间 FAs 均值的配伍方差分析差异不显著 ($P > 0.05$)。

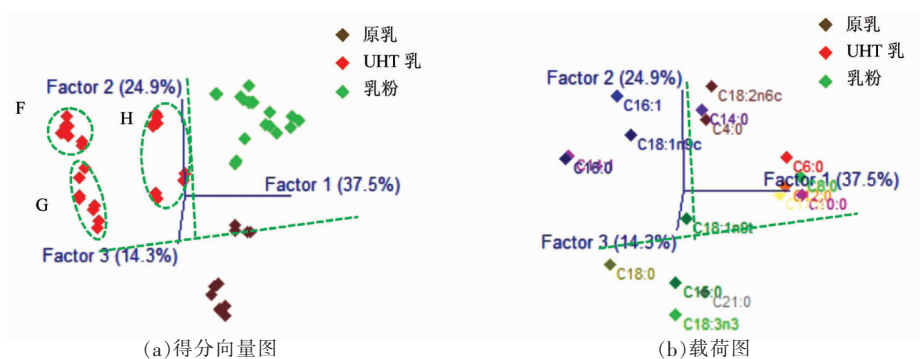


图3 山羊原乳、UHT乳和乳粉 FAs 指纹 PCA 分析

Fig.3 PCA on FAs fingerprint of goat raw milk, UHT milk and milk powder

粉中的 C4:0、C6:0 和 C8:0 显著的高。MUFA、PUFA、C4:0、C6:0、C8:0、C10:0 和 C12:0 在 3 种原乳、UHT 乳和乳粉中呈递增趋势，C18:0 递减。大部分指标，如 SFA、TFA、n-3PUFA、n-6PUFA、C14:0、C16:0、C18:1n9t、C18:1n9c 和 C18:2n6c 变化趋势不一致。

2.2 热处理对乳 FAs 的作用

6 批次原乳中添加少许浓缩乳，经 45 °C 标准化后进行 UHT 处理[(125±2)°C]，处理前、后大多数 FAs 独立样本 *t* 检验差异不显著 ($P>0.05$)，各 FA 变化幅度远没有表 1 中原乳与 UHT 乳 FA 差异大(含量统计数据表格从略)。FAs 整体差异的配对 *t* 检验差异不显著 ($P>0.05$)。PCA 结果见图 4，原乳与 UHT 乳聚类有明显的分离趋势，聚类的分离距离不如图 1~3 明显。提示为制作酸奶而进行 UHT 处理(125 °C, 2 s)，对 FAs 影响较小，通过 PCA 仍可区分 FAs 的微细变化。

液态乳主要经 UHT 热处理，一些企业原乳进

贮奶罐前通常有 1 道高温巴氏杀菌(通常 70~85 °C, 10~15 s)，乳粉生产则受消毒灭菌、加热浓缩和喷雾多次热处理，热处理的参数不尽相同^[27]。在热处理外，还有均质和闪蒸脱气(脱水)工艺，因此牛、牦牛和山羊 3 个动物原乳、UHT 乳和乳粉(复原乳)以 FAs 指纹的聚类区分，可视为主要是热处理效果。结合 2.1 节统计和 PCA(表 1, 图 1~图 3)，一些 FAs 在 3 种动物原乳、UHT 乳和乳粉中都存在规律性地递增和递减，推论这些 FAs 对热处理敏感。 α -亚麻酸(C18:3n3)显著减少，C4:0、C6:0 和 C8:0 显著增高，推测主要是 UHT 处理结果。本研究 UHT 乳和乳粉的 FAs 没有特别显著的差异。

本研究 2.1 节中原乳、UHT 乳和乳粉涉及多个企业的多个产品，3 种动物 FAs 在 3 个分类的变化多数不一致，不能简单归结为热处理的结果。比如，按理对热敏感的 MUFA 和 PUFA 在 UHT 乳和乳粉中相比原乳反而增加，可能与闪蒸脱水浓缩的标准化，调制乳添加稀奶油等工艺有关。

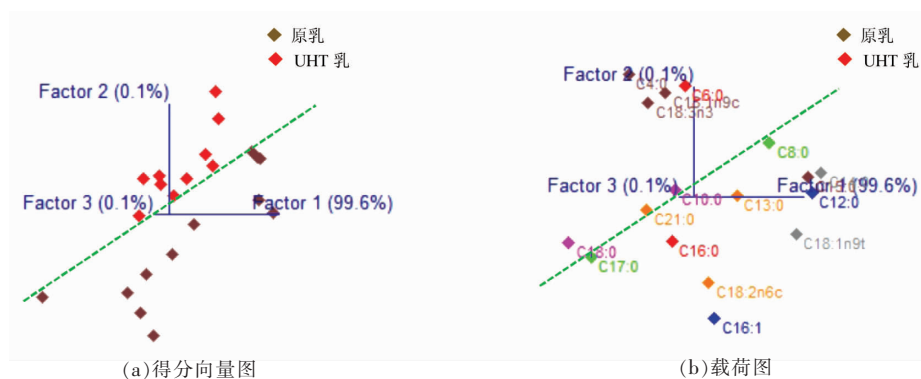


图4 6 批次原乳标准化后 UHT 处理试验 FAs 指纹 PCA 分析

Fig.4 PCA on FAs fingerprint of six batch standardized cow raw and UHT milk

2.3 不同品牌和品类 UHT 牛乳 FAs 指纹特征

两个品牌荷斯坦牛 UHT 乳和同品牌 4 个品类产品 FAs 统计结果见表 2。两个品牌有机 UHT 乳多数 FA 和复合指标独立样本 t 检验差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$), 少数差异不显著 ($P > 0.05$); 配对样本 t 检验, 两个品牌有机 UHT 乳 FAs 无显著差异 ($P > 0.05$)。同品牌 4 个品类 UHT 乳 FA 差异均显著 ($P < 0.05$), 然而, 配伍方差分析 4 个品类 FAs 总均值无显著差异 ($P > 0.05$)。传统统计方法不能区分不同品牌和品类 UHT 乳 FAs 指纹整体微细的变化, 提示不同 UHT 乳的 FA 变化不存在整体平行改变的简单模式。

对品牌和品类分别进行 PCA 分析, 结果见图 5 和图 6。两个品牌有机 UHT 乳和同品牌 4 个品类产品自然聚类成群都符合相应分类, 这与张鑫^[12]的研究结果一致。A1 有机牛奶和 A4 调配牛奶两种品类产品与其它两种 UHT 纯牛奶分开, 而后两者在图 6 中有重叠, 说明 FAs 指纹共性大, 单独对

这两者进行 PCA 也可分开(图从略)。A1 有机牛奶原料来自有机牧场, 而 A4 是一种添加了稀奶油的调制乳, 两者与普通纯牛奶 FAs 指纹差别较大。

PCA 载荷图(图 5b)结合描述性统计分析(表 2), 对两种品牌自然聚类贡献大的特征 FAs 有: C14:0、C18:2n6c 和 C18:1n9t 在 A 品牌 UHT 乳中较高, 而 C16:0 为 C 品牌 UHT 乳的特征 FA。复合指标 PUFA、TFA、n-3PUFA、n-6PUFA, 在 A 品牌 UHT 乳中较高, SFA 含量较低。图 6b 结合表 2, 对 4 个品类档次 UHT 乳自然聚类贡献大的特征 FAs 有: A3 有机乳中的 C14:0、C18:0 和 C18:2n6c, A4 调配乳中的 C16:0。A1 和 A2 纯牛奶 FAs 之间差异不显著, 而两者单独 PCA 分开, 说明 FAs 指纹有细微的差别。复合指标 PUFA、TFA、n-3PUFA 和 n-6 PUFA 在 A1 有机乳中较高, SFA 在 A4 调配乳中较高。本研究涉及品牌和品类有限, 其它品牌, 进口 UHT 乳的 FAs 指纹有待研究。

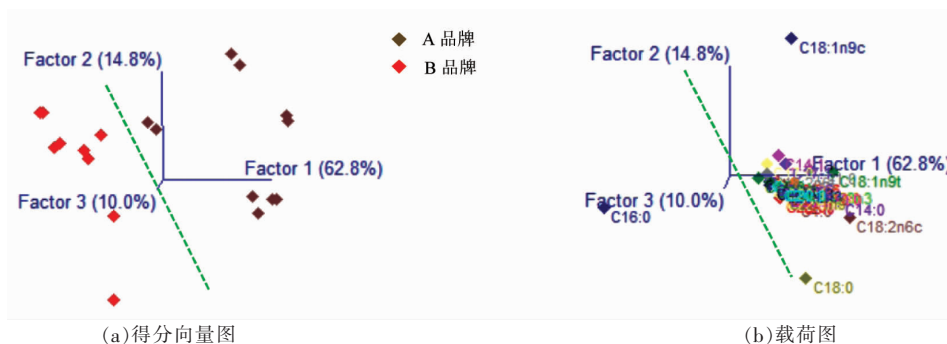


图 5 两个品牌有机 UHT 牛乳 FAs 指纹 PCA 分析

Fig.5 PCA on FAs fingerprint of two brands UHT organic milk

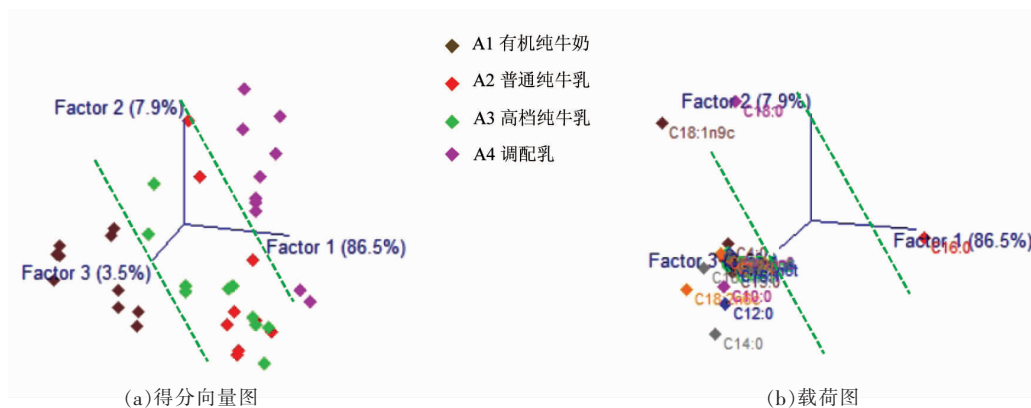


图 6 同品牌 4 种 UHT 乳品类 FAs 指纹 PCA 分析

Fig.6 PCA on FAs fingerprint of the four UHT series of same brand

表2 不同品牌和品类牛UHT液态乳FAs描述性统计结果(g/100g)

	有机UHT乳品牌				A品牌4种品类UHT乳			
	A(品牌有机乳*) (N=5)	C(品牌有机乳) (N=5)	A:C		A2(普通纯牛乳) (N=5)	A3(高档纯牛乳) (N=5)	A1(有机牛乳*) (N=5)	A4(调配牛乳) (N=5)
SFA	58.87 ± 1.50 ^b	60.46 ± 0.48 ^a	1.0		61.28 ± 1.31 ^b	61.52 ± 1.71 ^b	58.87 ± 1.5 ^c	62.05 ± 1.43 ^{ab}
MUFA	23.82 ± 1.19	23.58 ± 1.22	1.0		23.24 ± 1.37 ^b	23.35 ± 1.65 ^{ab}	23.82 ± 1.19 ^a	23.31 ± 0.56 ^{ab}
PUFA	4.38 ± 0.55 ^a	3.58 ± 0.49 ^b	1.2		3.24 ± 0.32 ^b	3.19 ± 0.32 ^b	4.38 ± 0.55 ^a	2.94 ± 0.29 ^c
TFA	2.58 ± 0.27 ^b	2.23 ± 0.18 ^b	1.2		2.03 ± 0.26 ^b	1.87 ± 0.24 ^c	2.58 ± 0.27 ^a	1.86 ± 0.34 ^c
n-3	0.48 ± 0.08 ^a	0.34 ± 0.05 ^b	1.4		0.31 ± 0.15 ^b	0.32 ± 0.06 ^b	0.48 ± 0.08 ^a	0.29 ± 0.11 ^b
n-6	3.90 ± 0.48 ^a	3.24 ± 0.47 ^b	1.2		2.94 ± 0.21 ^b	2.87 ± 0.26 ^b	3.90 ± 0.48 ^a	2.65 ± 0.21 ^c
C4:0	1.05 ± 0.43	0.98 ± 0.21	1.1		0.93 ± 0.27 ^b	1.07 ± 0.25 ^a	1.05 ± 0.43 ^{ab}	1.04 ± 0.17 ^{ab}
C6:0	1.02 ± 0.23	0.95 ± 0.13	1.1		1.02 ± 0.11 ^a	1.00 ± 0.12 ^{ab}	1.02 ± 0.23 ^a	0.93 ± 0.12 ^b
C8:0	0.72 ± 0.08 ^a	0.64 ± 0.05 ^b	1.1		0.67 ± 0.06 ^b	0.69 ± 0.05 ^{ab}	0.72 ± 0.08 ^a	0.64 ± 0.04 ^c
C10:0	2.02 ± 0.16 ^a	1.79 ± 0.07 ^b	1.1		1.86 ± 0.24 ^b	1.97 ± 0.16 ^a	2.02 ± 0.16 ^a	1.80 ± 0.14 ^b
C12:0	2.85 ± 0.19 ^a	2.55 ± 0.07 ^b	1.1		2.65 ± 0.42 ^b	2.82 ± 0.28 ^a	2.85 ± 0.19 ^a	2.63 ± 0.28 ^b
C14:0	10.26 ± 0.36 ^a	9.61 ± 0.20 ^b	1.1		9.70 ± 0.57 ^c	10.01 ± 0.44 ^b	10.26 ± 0.36 ^a	9.67 ± 0.44 ^c
C15:0	0.99 ± 0.07	1.01 ± 0.05	1.0		1.04 ± 0.15 ^b	1.13 ± 0.16 ^a	0.99 ± 0.07 ^b	1.02 ± 0.08 ^b
C16:0	27.08 ± 1.91 ^b	30.15 ± 1.05 ^a	0.9		31.61 ± 1.36 ^a	30.94 ± 2.12 ^a	27.08 ± 1.91 ^b	31.74 ± 1.89 ^a
C17:0	0.50 ± 0.25	0.53 ± 0.02	0.9		0.53 ± 0.03	0.56 ± 0.05	0.50 ± 0.25	0.49 ± 0.23
C18:0	11.22 ± 0.95	11.29 ± 1.00	1.0		10.32 ± 0.97 ^b	10.44 ± 0.92 ^b	11.22 ± 0.95 ^a	11.16 ± 1.19 ^a
C14:1	0.71 ± 0.08 ^a	0.67 ± 0.06 ^b	1.1		0.69 ± 0.10	0.72 ± 0.09	0.71 ± 0.08	0.69 ± 0.11
C16:1	1.14 ± 0.23	1.23 ± 0.17	0.9		1.36 ± 0.17 ^a	1.33 ± 0.18 ^a	1.14 ± 0.23 ^b	1.33 ± 0.20 ^a
C18:1n9t	2.32 ± 0.28 ^a	1.96 ± 0.17 ^b	1.2		1.82 ± 0.17 ^b	1.65 ± 0.14 ^c	2.32 ± 0.28 ^a	1.63 ± 0.32 ^c
C18:1n9c	21.39 ± 1.05	21.23 ± 1.07	1.0		20.68 ± 1.45 ^b	20.75 ± 1.74 ^b	21.39 ± 1.05 ^a	20.8 ± 0.86 ^{ab}
C18:2n6c	3.54 ± 0.47 ^a	2.93 ± 0.40 ^b	1.2		2.57 ± 0.08 ^b	2.54 ± 0.28 ^b	3.54 ± 0.47 ^a	2.32 ± 0.17 ^c
α-C18:3n3	0.42 ± 0.07 ^a	0.28 ± 0.05 ^b	1.5		0.26 ± 0.14 ^b	0.27 ± 0.06 ^b	0.42 ± 0.07 ^a	0.23 ± 0.05 ^b

注:同一类别中乳FA小写字母不同,表示(独立样本t检验)差异显著或极显著($P<0.05$ 或 $P<0.01$);同一类别乳FA大写字母不同,表示(单因素方差分析)差异显著或极显著($P<0.05$ 或 $P<0.01$);同一类别同乳FA均值配伍方差分析或配对样本t检验差异不显著($P>0.05$)。*为同一组有机UHT乳样品数据,为方便品牌和产品独立分析比较和标注重复列出。

2.4 不同饲养模式牛乳 FAs 指纹特征

两个乳品企业有机和非有机牧场原乳和有机 UHT 乳 FAs 统计结果见表 3。两个企业有机与非有机乳原乳，有机与非有机 UHT 乳多数 FA 独立样本 t 检验差异显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)，个别 FA 差异不显著 ($P > 0.05$)；配对 t 检验，两个

企业有机与非有机原乳和 UHT 乳 FAs 总均值无显著差异 ($P > 0.05$)，传统差异检验不能区分有机与非有机乳 FAs 构成的复杂差异模式。

PCA 分析结果见图 7、图 8 和图 9。有机与非有机 UHT 乳，有机与非有机牧场原乳都聚类分离，证明两种饲养模式原乳与乳产品 FAs 指纹不

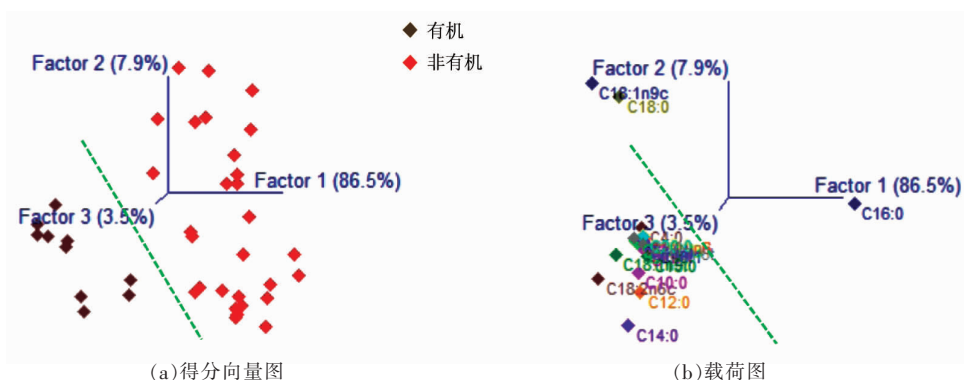


图 7 品牌 A 有机与非有机 UHT 乳 FAs 指纹 PCA 分析

Fig.7 PCA on FAs fingerprint of organic and non-organic UHT milk of A brand

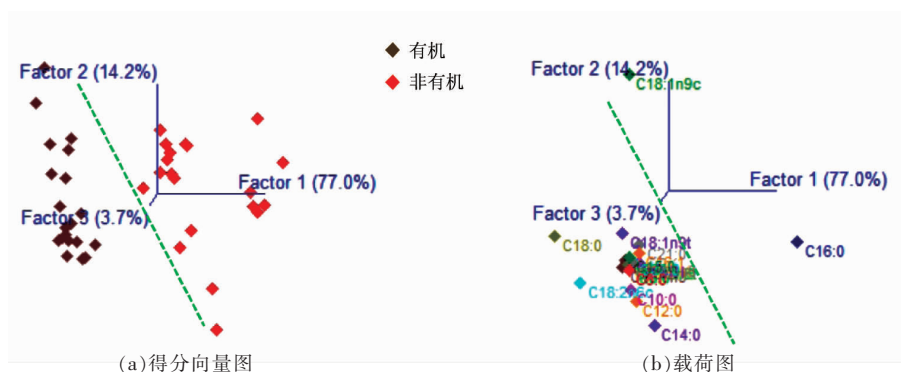


图 8 乳品企业 A 有机与非有机牧场原乳 FAs 指纹 PCA 分析

Fig.8 PCA on FAs fingerprint of organic and non-organic raw milk of A Dairy

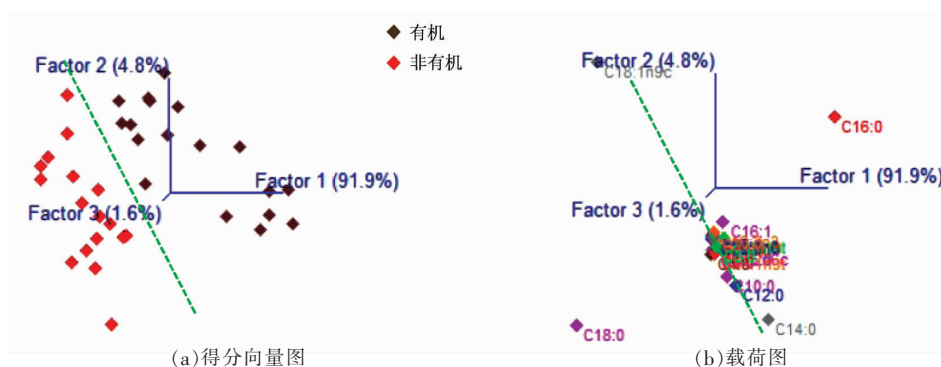


图 9 乳品企业 B 有机与非有机牧场原乳 FAs 指纹 PCA 分析

Fig.9 PCA on FAs fingerprint of organic and non-organic raw milk of B Dairy

表3 不同饲养模式荷兰牛乳FAs描述性统计结果 (g/100 g)

	Table 3 Descriptive statistics on FAs of different feeding mode Holstein cow milk (g/100 g)											
	A 乳企 UHT 乳						B 乳企原乳					
	A 乳企原乳		A 乳企		B 乳企原乳		B 乳企					
	有机 (N=5)	非有机 (N=15)	有机:非有机	有机牧场 (N=10)	非有机牧场 (N=10)	有机:非有机	有机牧场 (N=18)	非有机牧场 (N=17)	有机:非有机	A 乳企: B 乳企	有机原乳	
SFA	58.87 ± 1.5 ^b	61.62 ± 1.58 ^a	1.0	58.22 ± 1.28 ^b	61.02 ± 2.08 ^a	1.0	61.13 ± 2.18 ^a	59.44 ± 2.05 ^b	1.0	1.0	1.0	
MUFA	23.82 ± 1.19 ^a	23.3 ± 1.24 ^b	1.0	22.67 ± 2.17 ^b	23.43 ± 1.64 ^a	1.0	22.83 ± 2.16 ^b	23.96 ± 1.32 ^a	1.0	1.0	1.0	
PUFA	4.38 ± 0.55 ^a	3.12 ± 0.40 ^b	1.4	4.19 ± 0.42 ^a	2.58 ± 0.43 ^b	1.6	2.86 ± 0.17 ^b	2.98 ± 0.31 ^a	1.0	1.5	1.5	
TFA	2.58 ± 0.27 ^a	1.92 ± 0.32 ^b	1.3	3.01 ± 0.19 ^a	2.63 ± 0.75 ^b	1.1	1.48 ± 0.23 ^b	1.73 ± 0.47 ^a	0.9	2.0	2.0	
n-3	0.48 ± 0.08 ^a	0.30 ± 0.11 ^b	1.6	0.58 ± 0.07 ^a	0.36 ± 0.21 ^b	1.6	0.23 ± 0.05 ^a	0.19 ± 0.03 ^b	1.2	2.5	2.5	
n-6	3.90 ± 0.48 ^a	2.82 ± 0.33 ^b	1.4	3.60 ± 0.37 ^a	2.21 ± 0.47 ^b	1.6	2.63 ± 0.18 ^b	2.79 ± 0.31 ^a	0.9	1.4	1.4	
C4:0	1.05 ± 0.43	1.01 ± 0.25	1.0	1.12 ± 0.35	1.03 ± 0.43	1.1	1.24 ± 0.24	1.23 ± 0.21	1.0	0.9	0.9	
C6:0	1.02 ± 0.23	0.98 ± 0.14	1.0	1.02 ± 0.18	1.05 ± 0.22	1.0	0.99 ± 0.16 ^a	0.93 ± 0.15 ^b	1.1	1.0	1.0	
C8:0	0.72 ± 0.08 ^a	0.67 ± 0.07 ^b	1.1	0.68 ± 0.07	0.70 ± 0.13	1.0	0.64 ± 0.10 ^a	0.58 ± 0.09 ^b	1.1	1.1	1.1	
C10:0	2.02 ± 0.16 ^a	1.88 ± 0.23 ^b	1.1	1.79 ± 0.15	1.88 ± 0.45	1.0	1.85 ± 0.36 ^a	1.68 ± 0.27 ^b	1.1	1.0	1.0	
C12:0	2.85 ± 0.19 ^a	2.70 ± 0.36 ^b	1.1	2.43 ± 0.17 ^a	2.68 ± 0.67 ^b	0.9	2.54 ± 0.55 ^a	2.27 ± 0.35 ^b	1.1	1.0	1.0	
C14:0	10.26 ± 0.36 ^a	9.79 ± 0.57 ^b	1.0	10.06 ± 0.48 ^a	10.83 ± 0.97 ^b	0.9	9.50 ± 1.27 ^a	8.66 ± 0.89 ^b	1.1	1.1	1.1	
C15:0	0.99 ± 0.07 ^b	1.06 ± 0.16 ^a	0.9	0.85 ± 0.69	0.92 ± 0.13	0.9	1.08 ± 0.23 ^a	0.99 ± 0.12 ^b	1.1	0.8	0.8	
C16:0	27.08 ± 1.91 ^b	31.43 ± 1.89 ^a	0.9	26.58 ± 0.73 ^b	29.94 ± 2.36 ^a	0.9	31.77 ± 1.70 ^a	29.53 ± 0.75 ^b	1.1	0.8	0.8	
C17:0	0.50 ± 0.25	0.53 ± 0.15	0.9	0.56 ± 0.03 ^a	0.48 ± 0.16 ^b	1.2	0.45 ± 0.03 ^b	0.48 ± 0.05 ^a	1.0	1.2	1.2	
C18:0	11.22 ± 0.95 ^a	10.64 ± 1.25 ^b	1.1	11.96 ± 0.53 ^a	10.2 ± 1.39 ^b	1.2	10.15 ± 1.99 ^b	12.16 ± 0.87 ^a	0.8	1.2	1.2	
C14:1	0.71 ± 0.08	0.70 ± 0.10	1.0	0.74 ± 0.24 ^b	0.90 ± 0.12 ^a	0.8	0.74 ± 0.20 ^a	0.60 ± 0.12 ^b	1.2	1.0	1.0	
C16:1	1.14 ± 0.23 ^b	1.34 ± 0.18 ^a	0.9	1.00 ± 0.18 ^b	1.24 ± 0.32 ^a	0.8	1.49 ± 0.14 ^a	1.36 ± 0.11 ^b	1.1	0.7	0.7	
C18:1n9t	2.32 ± 0.28 ^a	1.7 ± 0.28 ^b	1.4	2.72 ± 0.16 ^a	2.43 ± 0.75 ^b	1.1	1.47 ± 0.23 ^b	1.73 ± 0.47 ^a	0.9	1.9	1.9	
C18:1n9c	21.39 ± 1.05 ^a	20.74 ± 1.35 ^b	1.0	20.33 ± 2.16	20.66 ± 1.47	1.0	20.33 ± 2.39 ^b	21.74 ± 1.38 ^a	0.9	1.0	1.0	
C18:2n6c	3.54 ± 0.47 ^a	2.48 ± 0.29 ^b	1.4	3.26 ± 0.35 ^a	1.85 ± 0.44 ^b	1.8	2.50 ± 0.19 ^b	2.66 ± 0.32 ^a	0.9	1.3	1.3	
α-C18:3n3	0.42 ± 0.07 ^a	0.25 ± 0.10 ^b	1.7	0.51 ± 0.08 ^a	0.28 ± 0.12 ^b	1.8	0.22 ± 0.04 ^a	0.18 ± 0.02 ^b	1.2	2.3	2.3	

注:同一类别中乳FA小写字母不同,表示(独立样本*t*检验)差异显著或极显著($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$);同一类别间乳FAs均值配对样本*t*检验差异不显著($P > 0.05$)。

同的假设;反之,以 FAs 指纹判别有机和非有机乳可行,也可评价有机饲养的效果。

A 乳企有机原乳的 MUFA 和 PUFA 增幅高于 B 乳企的有机原乳;A 乳企普通牧场原乳的 USFA 也高于 B 乳企, 同样都证明不同企业的饲养模式(饲养标准、饲料配方、饲养空间、动物福利等)不同,生产出的牛乳 FAs 构成就不同。A 乳企原乳和 UHT 乳的有机与非有机空间聚类位置一致, 而 A 乳企和 B 乳企有机与非有机原乳分布位置也不一致, 同样提示不同企业饲养规范和饲料不同, 生产牛乳的 FAs 也不同。

PCA 载荷图(图 7b、图 8b 和图 9b)结合描述统计(表 3), 有机与非有机乳区别主要在于 α -亚麻酸($n-3$ 系 PUFA)、亚油酸($n-6$ 系 PUFA)以及 C16:0、C18:0 和 C18:1n9c 等 FAs。牛乳中 α -亚麻酸含量虽少, 但是有机乳中唯一显著增加的 FA。与张鑫^[12]、Collomb 等^[3]和 Ellis 等^[28]研究结果一致。

3 讨论

从传统描述性统计和差异分析, 结合化学计量学 PCA 分析, 多数 FA 在 5 个研究分类间存在显著或极显著差异, 然而指标的孤立分析不足以证明每一种生产和加工会产生特征性作用, 而传统描述性统计和差异检验对多指标, 即多变量分析能力存在先天不足^[1,29-30], 对乳品 FAs 复杂的变化模式, 不一定同步或同向平行的增减不能加以区分。显然化学计量学(Chemometrics)多变量分析策略和原理是解析多指标内外变化规律和模式的理想工具, 也是组学研究的主要分析工具, 然而, 尚未普遍应用在加工对乳品营养素组及品质指标集的影响研究中。

PCA 结果表明, 各乳样集的自然聚类与相应的研究分类一致, 表明乳品 FAs 指纹数据存在明显的生产加工特征或模式, 通过 PCA 也可确定对聚类/分类贡献大的特征 FAs, 而 FAs 差异的具体比较还得回归传统描述性统计和差异检验, 互相印证。

本研究结果表明 5 类生产加工及奶畜饲养, 即人为和工业因素, 都可以改变乳品的 FAs 构成/指纹/模式。反过来, 利用 FAs 指纹有望建立模型,

对生产加工方式、厂家品牌加以区分和进行效果评价。譬如评价有机或某种特殊饲养的效果。在质量和真实性方面, 不仅可区分原乳与复原乳, 纯牛乳与调配乳, 也有望建模区分厂家品牌, 以及不同标准化和工艺参数的乳制品。然而, 在厂家品牌及品类区分方面, 还有待扩大样本量进一步研究证实。企业不同包装和声称实际是否存在差异或同质性, 也是现实问题。在化学计量学分析技术方面, 今后还可采用其它聚类、分类、模式判别原理和方法, 尝试建立原乳及乳制品营养品质评价和真实性判别模型。

4 结论

本研究证明, 加工方法、厂家/品牌、品类/档次、饲养模式及热处理工艺参数等“人为”或“工业”因素对乳品 FAs 都有决定性作用, 即市售乳品 FAs“工业指纹”“工业特征”不同; 反过来, 利用 FAs 可建立模型, 对生产加工方式、厂家和品牌加以区分, 对市售乳制品完整性和真实性作评价; 并有望实现产奶家畜科学饲养、功能性和特色乳制品开发效果的多指标大数据可视化评价。

参 考 文 献

- [1] 郭军, 杨月欣, 王竹, 等. 原奶或液态奶真实性鉴别方法和系统: CN105021736A[P]. 2015-11-04. GUO J, YANG Y X, WANG Z, et al. Method and system for authenticity identification of raw or liquid milk; CN105021736A[P]. 2015-11-04.
- [2] 张鑫, 刘莉敏, 郭军, 等. 脂肪酸指纹判别特种家畜乳真实性的可行性分析[J]. 食品科技, 2018, 43(9): 146-151. ZHANG X, LIU L M, GUO J, et al. The feasibility of authenticating peculiar livestock milk by fatty acid fingerprint modeling[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(9): 146-151.
- [3] COLLOMB M, BISIG W, BÜTIKOFER U, et al. Fatty acid composition of mountain milk from Switzerland: Comparison of organic and integrated farming systems[J]. International Dairy Journal, 2008, 18(10): 976-982.
- [4] 郭艳霞, 梁贤威, 梁辛, 等. 水牛乳脂肪酸功能特性和影响因素研究进展[J]. 中国乳品工业, 2017,

- 45(9): 30-34.
- GUO Y X, LIANG X W, LIANG X, et al. Research progress on functional properties and influencing factors of milk fat acids in buffaloes[J]. China Dairy Industry, 2017, 45(9): 30-34.
- [5] 李云龙, 冀德君, 甘宗辉, 等. 巴氏杀菌奶不同处理温度和贮存期内脂肪酸变化规律研究[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 29-33.
- LI Y L, JI D J, GAN Z H, et al. Fatty Acid variation of pasteurized milk under different processing temperatures and storage periods[J]. Food Science, 2013, 34(13): 29-33.
- [6] 木其尔, 刘莉敏, 向雪松, 等. 呼伦贝尔蒙古牛黄色脂肪成因物质研究[J]. 食品科技, 2017, 42(7): 117-122.
- MU Q E, LIU L M, XIANG X S, et al. Studies on coloring factors of yellow fat of Mongolian Cattle in Hulunbuir grass land[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(7): 117-122.
- [7] 雒帅, 郭军, 孙海洲, 等. 内蒙古部分地区牛肉和绵羊肉色度测定比较[J]. 畜牧与饲料科学, 2020, 41(2): 78-86.
- LUO S, GUO J, SUN H Z, et al. Determination of chromaticity of beef and mutton originated from some areas of Inner Mongolia[J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2020, 41(2): 78-86.
- [8] 张晶, 郭军, 张美莉, 等. 基于近红外建立荞麦营养成分快速检测模型[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(6): 151-158.
- ZHANG J, GUO J, ZHANG M L, et al. Establishment of rapid detection model of buckwheat nutritional components based on near infrared spectroscopy[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(6): 151-158.
- [9] 刘宇婷, 王越男, 郭军, 等. SFC-Q-TOF-MS法鉴定四种家畜乳甘油三酯及特征分析[J]. 食品科学, 2021, 42(24): 296-304.
- LIU Y T, WANG Y N, GUO J, et al. Identification and analysis on characteristics of triacylglycerols of four livestock milk by supercritical fluid chromatography-quadruple time-of-flight mass spectrometry[J]. Food Science, 2021, 42(24): 296-304.
- [10] 刘莉敏, 郭军, 米智慧, 等. 蜂胶样品乙醇提取物的UPLC-Q-TOF-MS指纹特征[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 96-99.
- LIU L M, GUO J, MI Z H, et al. UPLC-Q-TOF-MS fingerprint profiling of ethanol extracts of propolis[J]. Food Science, 2014, 35(18): 96-99.
- [11] 郭珍珠. 特种家畜乳脂肪酸指纹特征研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020: 12-23.
- GUO Z Q. Study on fatty acids profile of special livestock milk[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2020: 12-23.
- [12] 张鑫. 有机与非有机原料乳及UHT牛乳的脂肪酸特征研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018: 13-24.
- ZHANG X. Fatty acids property of organic and non-organic raw milk and UHT milk[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2018: 13-24.
- [13] 李磊, 王昆, 何静, 等. 驼、牛、羊乳中脂肪酸含量的比较分析[J]. 食品科学, 2019, 40(6): 223-227.
- LI L, WANG K, HE J, et al. A comparative analysis of fatty acid profiles of camel, bovine and caprine milk[J]. Food Science, 2019, 40(6): 223-227.
- [14] 李文斐, 张磊, 宋宇轩, 等. 绵羊、山羊和牛乳的营养成分比较分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(24): 286-291.
- LI W F, ZHANG L, SONG Y X, et al. Comparative analysis of nutrients in sheep, goat and cow milk[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(24): 286-291.
- [15] 张克春, 徐国忠, 沈向真. 放牧奶牛的牛奶脂肪酸营养价值分析[J]. 乳业科学与技术, 2010, 33(1): 37-38.
- ZHANG K C, XU G Z, SHEN X Z. Nutrition value analysis of milk fatty acid in herd cows[J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2010, 33(1): 37-38.
- [16] BORK N R, SCHROEDER J W, LARDY G P, et al. Effect of feeding rolled flaxseed on milk fatty acid profiles and reproductive performance of dairy cows[J]. Journal of Animal Science, 2010, 88(11): 3739-3748.
- [17] 王倩. 内蒙古牛羊肉脂肪酸测定及其特征研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014: 12-30.
- WANG Q. Detection and profiling fatty acids of inner mongolian of beef and mutton[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2014: 12-30.
- [18] QIAN W, HAIJIN L, SHANSHAN Z, et al. Discrimination of mutton from different sources (regions, feeding patterns and species) by mineral ele-

- ments in Inner Mongolia, China[J]. *Meat Science*, 2021, 174: 108415.
- [19] 刘梦静, 郭军, 闫鑫磊, 等. 内蒙古放牧和舍饲绵羊肉的脂肪酸特征[J]. *肉类研究*, 2020, 34(6): 38-44.
- LIU M J, GUO J, YAN X L, et al. Fatty acid profiles of meat from pasturing and barn-fed sheep in Inner Mongolia, China[J]. *Meat Research*, 2020, 34(6): 38-44.
- [20] 姬彩霞, 闫鑫磊, 刘梦静, 等. 基于脂肪酸指纹的放牧与舍饲牛肉真实性判别模型建立[J]. *食品科学*, 2022, 43(2): 2361-2368.
- JI C X, YAN X L, LIU M J, et al. Establishment of authentication model for pasturing and barn feeding beef based on fatty acids fingerprint[J]. *Food Science*, 2022, 43(2): 2361-2368.
- [21] YURIDIA B M, OMAR H M, MAGDALENA C G M, et al. Physicochemical characteristics and fatty acid profile of beef in Northeastern Mexico: grazing vs feedlot systems[J]. *CyTA-Journal of Food*, 2020, 18(1): 147-152.
- [22] HERZALLAH S M, HUMEID M A, AL-ISMAIL K M. Effect of heating and processing methods of milk and dairy products on conjugated linoleic acid and trans fatty acid isomer content[J]. *Journal of Dairy Science*, 2005, 88(4): 1301-1310.
- [23] 侯俊财, 刘艳平, 霍贵成, 等. 热处理对乳中 CLA 含量的影响[J]. *食品工业科技*, 2008(3): 111-112.
- HOU J C, LIU Y P, HUO G C, et al. Effect of heating treatment of milk and dairy products on the content of conjugated linoleic acid[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2008(3): 111-112.
- [24] 刘仕军, 卜登攀, 王加启. 加工温度及存放时间对富共轭亚油酸牛乳脂脂肪酸的影响[J]. *农业工程学报*, 2007(8): 266-269.
- LIU S J, BU D P, WANG J Q. Effects of processing temperature and storage time on fatty acid in rich-conjugated linoleic acid milk[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007(8): 266-269.
- [25] COSTA E N, LACERDA E C Q, SANTOS S M S, et al. Action of successive heat treatments in bovine milk fatty acids[J]. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2011, 22(11): 2115-2120.
- [26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定: GB 5009.168-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-6.
- The National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, the State Food and Drug Administration. National standard for food safety: Determination of fatty acids in food: GB 5009.168-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016: 1-6.
- [27] 张和平, 张列兵. 现代乳品工业手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 260-262.
- ZHANG H P, ZHANG L B. Handbook of modern dairy industry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2005: 260-262.
- [28] ELLIS K A, INNOCENT G, GROVE-WHITE D, et al. Comparing the fatty acid composition of organic and conventional milk[J]. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89(6): 1938-1950.
- [29] 褚小立. 化学计量学方法与分子光谱分析技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011: 95-104.
- CHU X L. Molecular spectroscopy analytical technology combined with chemometrics and its applications[M]. Chemical Industrial Press, 2011: 95-104.
- [30] ALAA E, M H G. Chemometrics in pharmaceutical analysis: an introduction, review, and future perspectives[J]. *Journal of AOAC International*, 2012, 95(3): 609-623.

Analysis on Industry Property of Fatty Acids Fingerprint of Liquid Milk and Milk Powder

Jia Jia, Guo Jun*, Li Qi, Guo Zhenqi

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018)

Abstract Fatty acids (FAs) composition pattern, i.e. FAs fingerprints, of milk and dairy products is not only determined or affected by milk animal's species and breeds, natural geographical and climate environmental origin, also correlated to feeding pattern of milk animal, quality of raw milk, product type, product standard and processing parame-

ters, etc., artificial and industrial factors. To date, the concept of "industrial fingerprint" of dairy products has not been proposed, and lacks systematic studies. A total of 200 Holstein cow (cow), Yak and Goat raw milk, Ultra high temperature (UHT) milk and milk powder samples were collected, and FAs were detected by gas chromatography method. According to the following five categories/aspects of industrial factors such as ①product type, ②UHT treatment, ③producer/brand, ④liquid milk series, and ⑤feeding pattern of cow, significant differences of each single FA and overall differences of FAs data set were tested and compared, and principal component analysis(PCA) was conducted to observe the natural clustering of sample sets by their FAs fingerprints. As the results, most FA showed significant differences in each study aspects, but no significant differences were observed on general mean of overall FAs by block designed analysis on variance and paired t test, traditional statistics could not distinguish the complex overall changes of FAs pattern. PCA showed that the natural clustering of milk samples were consistent with processing methods, brands, series, and feeding patterns, proving that these various industrial factors could cause characteristic and patterned changes on FAs fingerprints of dairy products. Conversely, it is feasible and promising to establish FAs fingerprint model to distinguish the producing and processing methods, producer and brand of milk products, product series and so on, integrity and authenticity of market dairy foods, and also facilitate and visualize massive data/multivariate evaluation on effectiveness of scientific feeding on milk animals and functional and peculiar dairy product development.

Keywords fatty acids; liquid milk; milk powder; industrial fingerprint; UHT; cluster analysis; brand