

专家述评

发酵乳制品与中老年人群健康相关性研究进展:来自队列研究的证据

张玉梅¹,江华²,李婷^{3,4},段素芳^{3,5},冯罡^{4,5},何婷超^{3,4},司徒文佑^{4,5}

- (1. 北京大学公共卫生学院营养与食品卫生学系,北京 100191;2. 北京大学护理学院,北京 100191;
3. 内蒙古乳业技术研究院有限责任公司,内蒙古呼和浩特 010110;4. 内蒙古伊利实业集团股份有限公司,内蒙古呼和浩特 010110;5. 国家乳业技术创新中心,内蒙古呼和浩特 010000)

摘要:发酵乳制品因发酵而发生结构和质地改变,并产生独特营养物质,且具有特殊的风味和营养特点,对中老年人群健康具有较多健康益处。基于全球队列研究的相关证据,本文综述了发酵乳制品摄入与中老年人群超重/肥胖、心脑血管疾病、糖尿病前期和糖尿病、认知、肿瘤发生间的相关性,以及发酵乳制品潜在健康作用机制的研究进展。

关键词:发酵乳制品;酸奶;中老年;队列;非传染性慢性疾病;超重/肥胖;心脑血管疾病;糖尿病

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2023)10-1401-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2023.10.001

Research progress on fermented dairy products and their relation with the health of middle-aged and older adults: Evidence from global cohort studies

ZHANG Yumei¹, JIANG Hua², LI Ting^{3,4}, DUAN Sufang^{3,5}, FENG Gang^{4,5}, HE Tingchao^{3,4}, SZETO Man-Yau Ignatius^{4,5}

- (1. Department of Nutrition and Food Hygiene, School of Public Health, Peking University, Beijing 100191, China; 2. School of Nursing, Peking University, Beijing 100191, China; 3. Inner Mongolia Yili Industrial Group Co. Ltd., Inner Mongolia Hohhot 010110, China; 4. Inner Mongolia Dairy Technology Research Institute Co., Ltd., Inner Mongolia Hohhot 010110, China; 5. National Center of Technology Innovation for Dairy (NCTID), Inner Mongolia Hohhot 010000, China)

Abstract: Fermented dairy products undergo structural and textural changes during fermentation, resulting in the production of unique nutrients. Therefore, they have special flavors and nutritional characteristics, offering health benefits for middle-aged and older adults, based on relevant evidence from global cohort studies. This article reviews evidence from global long-term follow-up cohort studies investigating the associations between fermented dairy products intake and overweight/obesity, cardiovascular and cerebrovascular diseases, prediabetes and diabetes, cognition, and tumorigenesis. Additionally, this review explores the potential mechanisms for these associations.

Key words: fermented dairy products; yogurt; middle-aged and older adults; cohort; noncommunicable chronic disease; overweight/obesity; cardiovascular and cerebrovascular diseases; diabetes

发酵乳制品是原料乳在特定微生物的作用下,如通过乳酸菌发酵或乳酸菌和酵母菌等其他微生物联合发酵制成的具有特殊风味物质的酸性乳制品。原料乳一般是动物乳,如牛奶、羊奶、马奶、骆驼奶等,其中以牛奶为主。发酵乳制品类型主要包括发酵奶(酸奶或酸乳)和干酪两大类^[1],其他类型

还包括我国传统的酸马奶、奶渣、奶豆腐等。因发酵乳中乳糖、蛋白质、脂肪发生分解,相比于纯乳具有更适于乳糖不耐受人群,具有利于消化吸收等益处。另外经过发酵产生氨基酸、多肽、脂肪酸等多种独特风味营养成分。近年来,来自于发酵乳制品与中老年人群健康间的人群研究,尤其是队列研究证据不断积累,对我国中老年人群的乳制品选择具有一定的指导意义。本文以我国中老年人乳类摄入不足、乳糖酶缺乏流行率较高为出发点,综述发酵乳制品与中老年人群的健康相关性研究,以期普遍存在乳糖酶缺乏的我国中老年人群寻求饮

收稿日期:2022-10-24

基金项目:“科技兴蒙”重点专项项目(2020-科技兴蒙-国创中心-4)

作者简介:张玉梅 女 教授 研究方向为人群营养

E-mail: zhangyumeisphn@pku.edu.cn

奶替代方案提供参考。

1 我国中老年人乳类摄入不足

“2010—2012年中国居民营养与健康状况监测”调查显示,我国老年人每天奶类摄入量为32.7g,总奶类消费率为21.6%,达到《中国居民膳食指南(2016)》推荐量者(每天300g)仅占1.21%,且与2002年相比,10年间我国老年人饮奶占比有下降的趋势^[2]。另外,中国一项纳入50万人平均年龄为52岁的调查^[3]中,乳类摄入量达到80.8g/d者占20.4%,达到44.4g/d者占11.1%,从未或很少摄入乳类者占68.5%,调查显示我国中老年人乳制品摄入水平较低。我国中老年人群奶类摄入水平低与众多因素相关,除当地的膳食模式、经济水平、生活习惯、文化差异外,我国成年人群对乳制品存在的知识差距以及自我认知偏差也影响乳制品摄入的数量和质量^[4]。此外,我国居民的乳糖不耐受(Lactose intolerance)流行率相对较高,例如2006年某医院进行的口服乳糖呼吸氢试验,数据显示随着年龄增加,乳糖酶缺乏率增加,中年组(40~60岁)80.0%被调查者缺乏乳糖酶,乳糖不耐受者达76.7%;老年组(60~70岁)乳糖酶缺乏占86.7%,乳糖不耐受者达80.0%^[5],较高的乳糖消化不良流行率在较大程度上限制了我国中老年人群对乳制品的摄入^[6]。

2 发酵乳制品的独特风味和营养特点

动物乳以牛奶为例,经过单一或多种微生物的协同发酵,其中的乳糖、蛋白质、脂肪等营养物质发生结构改变,产生了多种微生物的代谢产物。1979年有学者总结了酸奶生物化学变化^[7],如蛋白质发生变性、聚集和免疫球蛋白失活等,不同蛋白质亚单位发生相互作用,如 α -乳白蛋白与 β -乳球蛋白相互作用及 β -乳球蛋白与 κ -酪蛋白相互作用等。蛋白质的聚集及解聚、蛋白链交联可使蛋白质胶束增大,增强凝乳稳定性;蛋白质发生去磷酸化、部分水解及蛋白质亚单位如 κ -酪蛋白等产生糖肽,因而生成了多种不同类型的多肽、低聚肽和少量游离氨基酸;同时产生了如多肽、氨基酸的呈味物质。乳中碳水化合物分解产生有机酸、糠醛、羟甲基糠醛,降低发酵物pH,有助于发酵剂的发酵及酸奶的风味形成,乳糖及分解的碳水化合物与氨基酸发生作用,产生美拉德反应,形成席夫碱等,促使酸奶产生多种风味和气味。乳中的脂肪在发酵过程中发生脂解作用,形成内酯、甲酯和酮类,同样促使酸奶产生独特风味。人群研究发现,血液中乳类相关的脂

肪酸还可以作为生物标志物,评估酸奶的健康作用。

发酵乳制品营养价值源于其丰富的成分,包括矿物质、碳水化合物、蛋白质、肽、维生素和脂肪,其中维生素成分受生产中使用的奶类型和微生物菌群的影响。经过发酵,动物乳中部分乳糖分解为葡萄糖和半乳糖,更有利于消化、吸收;蛋白质发酵后可变成细微颗粒,含丰富的必需氨基酸,除有助于机体消化和吸收外其丰富的必需氨基酸还可以调节蛋白质、葡萄糖和脂质代谢,并对调节体质量、维持免疫反应和能量平衡产生积极影响。发酵后,牛奶中的钙被转化为水溶性钙,可为机体提供良好的钙来源。此外,肽被认为是牛奶发酵过程中产生的一类独特而重要的化合物,并且在发酵乳产品的健康益处中占很大比重,综述研究显示发酵乳制品提供了具有抗氧化和抗菌活性的生物活性肽,另外还有种类丰富的具有血管紧张素转换酶(Angiotensin-converting enzyme, ACE)抑制、免疫调节和抗血栓形成作用的肽段^[8]。

3 发酵乳制品摄入与中老年人健康相关性

采用主题词检索的方式,在PubMed、Web of Science、Embase、中国知网、维普、万方数据库中检索发酵乳制品与中老年人群健康相关性的队列研究和系统综述相关文献,检索时间为2010年1月至2022年10月,提取和分析国家、研究对象和年龄、发表时间、研究方法、测量指标和结局指标等文献特征,最终共纳入10篇文章。

3.1 发酵乳制品与超重/肥胖

弗雷明翰心脏研究(Framingham Heart Study)显示每周摄入750mL酸奶者体质量、腰围均较低^[9],研究将250mL酸奶定义为1份,在调整人口统计学信息,包括饮食质量在内的生活方式等混杂因素后,酸奶对参与者体质量和腰围呈现剂量效应关系,<1份、1~3份、≥3份酸奶摄入者体质量年均增长分别为(0.16±0.02)kg、(0.15±0.03)kg、(0.07±0.04)kg($P_{趋势}=0.03$),腰围年均增长分别为(0.71±0.02)cm、(0.70±0.04)cm、(0.57±0.04)cm($P_{趋势}=0.008$),总之每周饮用≥3份酸奶的年龄在54.5~66.4岁的参与者其体质量和腰围比每周饮用<1份酸奶的参与者少增加(0.10±0.04)kg和(0.13±0.05)cm。结果还显示,奶酪摄入量与体质量或腰围的长期变化无关。

加拿大魁北克家庭研究(Québec Family Study)显示酸奶摄入对体质量、体成分有益,且能改善代谢^[10]。该研究中的随访者分为酸奶非饮用者

(0 份/d)和饮用者(≥1 份/d,相当于 175 g),平均随访 6 年,其最新的研究结果显示,年龄均数为 40 岁的酸奶消费者其体质量、体质量指数(Body mass index, BMI)、体脂百分比、腰围和血浆胰岛素、C 肽浓度均低于非消费者。调整了营养素丰富食品(Nutrient rich food, NRF)指数后,差异仅在男性人群中存在,女性参与者仅血糖存在差异;进一步调整体育活动参与程度和体脂百分比后,女性饮用酸奶者和非饮用者间口服葡萄糖后的血糖、胰岛素和 C 肽依然有统计学差异,且 6 年随访后相关效应依然存在。在调整年龄和 NRF 后,男性和女性酸奶消费者都比非消费者保持了更好的代谢状况;男性群体的身体脂肪百分比随时间下降,表明酸奶摄入对体成分有益处。

3.2 发酵乳制品与心脑血管疾病

国际上尤其是发达国家的人群健康研究队列建立较早,随访时间较长,因此对发酵乳制品与中老年人群间的相关性具有重要提示意义。有学者分别在 2016 年^[11]和 2021 年^[12]对乳制品,特别是发酵乳制品长期摄入对心脑血管疾病的影响进行了系统综述和荟萃(Meta)分析,通过证据级别的分析,认为发酵乳制品总摄入量、奶酪摄入可不同程度降低心脑血管疾病的风险,而酸奶摄入与心脑血管疾病呈中性关系。见表 1。

表 1 发酵乳制品与心脏代谢性疾病风险的证据等级^[12]

Table 1 Evidence levels of Fermented dairy products (FDP) and the risk of metabolic heart disease

| 发酵乳制品总摄入量 | 证据水平 | 证据等级 |
|------------------------|------|------|
| 发酵乳制品总摄入量可降低心血管疾病风险 | II | A |
| 发酵乳制品总摄入量可降低脑卒中风险 | II | A |
| 发酵乳制品总摄入量与高血压风险无关 | II | A |
| 发酵乳制品总摄入量与代谢综合征风险呈中性关系 | II | A |
| 奶酪 | 证据水平 | 证据等级 |
| 奶酪摄入可降低心血管疾病风险 | II | A |
| 奶酪摄入可降低脑卒中风险 | II | A |
| 奶酪摄入与代谢综合征风险无关 | II | B |
| 奶酪摄入可降低 2 型糖尿病风险 | II | B |
| 酸奶 | 证据水平 | 证据等级 |
| 酸奶摄入与心血管疾病风险呈中性关系 | II | A |
| 酸奶摄入与脑卒中呈中性关系 | II | B |
| 酸奶摄入可降低高血压风险 | II | B |
| 酸奶摄入可降低代谢综合征风险 | II | B |
| 酸奶摄入可降低 2 型糖尿病风险 | II | A |

注: II A:队列研究的 Meta 分析或系统综述; II B:单一队列研究。应用基于牛津循证医学中心不同级别的循证医学证据水平(2009 年 3 月)^[13]

一项目纳入了 29 项队列研究 Meta 分析中, 938 465 名年龄为 34~80 岁的参与者中心血管疾病患者 28 419 人,结果显示每天摄入 20 g 的酸奶、奶酪等发酵乳制品可降低 2% 的心血管疾病风

险^[14]。巴西成年人健康纵向研究(The Brazilian Longitudinal Study of Adult Health, ELSA-Brasil)结果显示,每日富含蔬菜、水果及 3 份乳制品的 DASH (Dietary Approaches to Stop Hypertension)膳食模式,可使参与者的收缩压下降 6.74 mmHg,舒张压下降 3.54 mmHg,研究中的乳制品摄入量如酸奶 120 g、奶酪 30 g 定义为 1 份^[15]。

3.3 发酵乳制品与糖尿病前期及糖尿病

我国中老年人中糖尿病前期占比较高,常伴有胰岛素抵抗的糖耐量异常、血糖调节异常。荷兰的鹿特丹长期追踪研究结果显示,高脂酸奶摄入量增加与糖尿病前期风险降低相关,即相比于酸奶摄入第一个四分位数,第四个四分位数参与者的糖尿病前期风险度(HR)为 0.70(95%CI:0.54,0.91),酸奶摄入量的剂量效应分析显示,每增加 150 mL 酸奶,HR 为 0.67(95%CI:0.51,0.89)^[15]。此外,2016 年综述中^[13]显示乳制品总量与 2 型糖尿病(Type 2 diabetes, T2D)风险呈负相关,每增加 200 g/d 乳制品的相对危险度(RR)为 0.97(95%CI:0.95,1.00; P=0.04),其中酸奶摄入量与 T2D 呈现非线性负相关,相对于非酸奶摄入者,酸奶摄入者(80 g/d)的 RR=0.86(95%CI:0.83,0.90; P=0.001)。此外,综述研究显示奶酪摄入与 T2D 发生风险呈负相关,剂量效应分析表明,奶酪摄入量(30 g/d)与 T2D 发生率呈显著负相关[RR=0.80(95%CI:0.69,0.93)],剂量效应分析结果也显示奶酪摄入与 T2D 风险较低相关,每增加 50 g/d 的奶酪摄入,T2D 相对危险度为 0.92(95%CI:0.86,0.99),或因研究的异质性,在其研究中,另两项纳入队列中未明确二者间剂量反应关系,因此奶酪与 T2D 间相关性证据等级为中等程度,需进一步研究。

3.4 发酵乳制品与中老年人认知

加拿大老龄化纵向研究(2011—2015),参与者 7 945 名(年龄 65~86 岁,其中 97% 为高加索人,女性占 49%)。该研究使用膳食频率调查问卷(Food frequency questionnaire, FFQ),将奶酪、酸奶、其他发酵乳制品的摄入频率分为四分位,分析了特定乳制品摄入频率与参与者的 3 个认知领域(执行功能、记忆和精神运动速度)的关系,奶酪摄入量与老龄人口的执行功能域呈正相关;酸奶的摄入量与记忆域呈正相关,与年龄、性别、教育和饮食等重要协变量无关;奶酪的摄入量与语言流畅度显著相关(P<0.05);与摄入较少的参与者相比,发酵乳制品摄入量>2.5 次/d 的参与者语言流畅度得分更高^[16]。但因研究的异质性和研究数量的局限,相关确定性结论仍需更多证据的积累。

3.5 发酵乳制品与肿瘤发生风险

一项纳入了61项队列研究的Meta分析^[17]共1 962 774名参与者,其中癌症发生38 358例,其结果显示发酵乳制品的摄入显著降低癌症风险,其中以酸奶摄入为典型代表。按照癌症类型进行的亚组分析,结果显示发酵乳制品的摄入显著降低了膀胱癌、结直肠癌和食管癌的风险。按照发酵乳类型分层分析,结果显示奶酪摄入与结直肠癌风险显著降低有关,酸奶摄入显著降低膀胱癌和结直肠癌的发生风险。中国一项纳入50万人平均年龄为52岁并追踪11年的队列研究显示^[3],乳制品摄入量每增加50g,总癌症、肝癌、淋巴瘤、乳腺癌风险分别增加7%、12%、19%、7%,但因其膳食摄入数据来自膳食频率调查,估计量准确度偏低,乳制品摄入频率、摄入量均低,因此其结论具有争议性,需进一步探究。

4 发酵乳制品健康作用机制研究进展

已有相关研究^[18]报道了血清中乳类生物标志物,如血清中十五烷酸(15:0)、十七烷酸(17:0)及反式棕榈油酸[t(16:1)n-7]浓度与心血管疾病风险成反比,生物标志物的含量对心血管疾病风险具有一定的提示作用;美国一项3 333名年龄30~75岁的美国男性和女性的队列研究^[19]发现,较高的血浆乳脂肪酸浓度与较低的糖尿病发病率相关,15:0、17:0、t(16:1)n-7和14:0可作为糖尿病风险相关的生物标志物。此外,发酵乳制品通过影响肠道菌群及肠道代谢组学从而影响机体健康。英国双生子研究(TwinsUK)^[20]FFQ调查显示,酸奶摄入率为73%。将所有参与者按照摄入酸奶频率分为不摄入酸奶者、摄入较少者(每周1~5次)及较高者(每周超过5次)。随着酸奶摄入量增加,肠道菌群 α 多样性显著增加;嗜热链球菌、毛螺菌科、瘤胃球菌科增多;嗜热链球菌及动物双歧杆菌丰度显著较高。其中伴随动物双歧杆菌乳酸亚种丰度的增加,血液中与肥胖及胰岛素抵抗有关的脂肪酸的单羟基化产物——3-羟基辛酸显著增加,因此3-羟基辛酸也可以作为发酵乳制品影响肠道菌群的生物标志物。

5 发酵乳制品其他健康相关问题

为改善产品的风味和品质,甜味剂、乳化剂、增稠剂等发酵乳制品中广泛使用。虽然诸多证据表明甜味剂能够增加肥胖和糖尿病风险,但是并未发现含甜味剂的发酵乳具有上述健康损害,可能与甜味剂的用量和种类有关。值得注意的是,有研究发现大部分乳化剂可能会对肠道菌群结构和功能

有负面影响,提示要优化发酵乳制品中乳化剂的选择^[21-22]。此外,发酵乳制品相对容易受到其他生物性的污染,以酵母菌和霉菌污染最为常见,这对发酵乳制品原料和生产环境提出更高的要求,需要严格执行现有的成熟质量管理体系要求,并对出厂产品进行检测,确保发酵乳制品的质量安全^[23]。

总之,发酵乳制品中乳糖含量低,较适合除动物乳蛋白过敏的人群食用,且由于酸奶、生熟奶酪、奶渣、乳扇、奶豆腐等作为欧美、我国蒙古族和藏族等少数民族传统日常食品,可推荐其作为中老年人尤其是乳糖不耐受者的乳制品种类选择之一,加之我国中老年人群非传染慢性疾病如超重/肥胖、血脂异常、心脑血管疾病、糖尿病发病率逐年增加,来自队列研究结果是目前发酵乳制品与健康提供了可推荐的有效性证据,因此,基于目前科学性证据的基础上,可通过健康教育促进中老年摄入发酵乳制品,从而增加乳制品的摄入。

参考文献

- [1] Dairy processing handbook [M]. Sweden: Tetra Pak Processing Systems, 1995.
- [2] 柳楨, 庞邵杰, 李裕倩, 等. 2010—2012年中国60岁及以上老年居民奶制品摄入状况分析[J]. 卫生研究, 2016, 45(5): 708-713.
LIU Z, PANG S J, LI Y Q, et al. Consumption status of dairy products in Chinese aged 60 and above in 2010-2012 [J]. Journal of Hygiene Research, 2016, 45(5): 708-713.
- [3] KAKKOURA M G, DU H D, GUO Y, et al. Dairy consumption and risks of total and site-specific cancers in Chinese adults: An 11-year prospective study of 0.5 million people [J]. BMC Medicine, 2022, 20(1): 134.
- [4] ZHAO A, SZETO I, WANG Y, et al. Knowledge, attitude, and practice (KAP) of dairy products in Chinese urban population and the effects on dairy intake quality [J]. Nutrients, 2017, 9(7): 668.
- [5] 肖玉桦, 黄承钰, 曾果, 等. 用氢呼气试验对健康成人乳糖吸收不良症的研究[J]. 现代预防医学, 1999, 26(1): 19-20.
XIAO Y H, HUANG C Y, ZENG G, et al. A study on the lactose malabsorption of healthy adult with hydrogen breath test [J]. Modern Preventive Medicine, 1999, 26(1): 19-20.
- [6] 李晓琴. 牛奶摄入和乳糖酶基因多态性对不同乳糖消化状况人群的肠道菌群和代谢状态的影响[D]. 武汉: 华中科技大学, 2018.
LI X Q. Effects of milk intake and lactase gene polymorphism on intestinal flora and metabolic status of people with different lactose digestion conditions [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2018.
- [7] TAMIME A Y, DEETH H C. Yogurt: Technology and Biochemistry [J]. Journal of Food Protection, 1980, 43(12): 939-977.
- [8] FARAG M A, JOMAA S A, EL-WAHED A A, et al. The many

- faces of kefir fermented dairy products: Quality characteristics, flavour chemistry, nutritional value, health benefits, and safety [J]. *Nutrients*, 2020, 12(2): 346.
- [9] WANG H, TROY L M, ROGERS G T, et al. Longitudinal association between dairy consumption and changes of body weight and waist circumference: the Framingham Heart Study [J]. *International Journal of Obesity (Lond)*, 2014, 38(2): 299-305.
- [10] PANAH S, DOYON C Y, DESPRÉS J P, et al. Yogurt consumption, body composition, and metabolic health in the Québec Family Study [J]. *European Journal of Nutrition*, 2018, 57(4): 1591-1603.
- [11] DROUIN-CHARTIER J P, BRASSARD D, TESSIER-GRENIER M, et al. Systematic review of the association between dairy product consumption and risk of cardiovascular-related clinical outcomes [J]. *Advances in Nutrition*, 2016, 7(6): 1026-1040.
- [12] COMPANYS J, PEDRET A, VALLS R M, et al. Fermented dairy foods rich in probiotics and cardiometabolic risk factors: a narrative review from prospective cohort studies [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 61(12): 1966-1975.
- [13] HOWICK J, GLASZIOU P, ARONSON J K. The evolution of evidence hierarchies: what can bradford Hill's 'guidelines for causation' contribute? [J]. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 2009, 102(5): 186-194.
- [14] GUO J, ASTRUP A, LOVEGROVE J A, et al. Milk and dairy consumption and risk of cardiovascular diseases and all-cause mortality: Dose-response meta-analysis of prospective cohort studies [J]. *European Journal of Epidemiology*, 2017, 32(4): 269-287.
- [15] SLURINK I A L, VOORTMAN T, OCHOA-ROSALES C, et al. Dairy product consumption in relation to incident prediabetes and longitudinal insulin resistance in the Rotterdam study [J]. *Nutrients*, 2022, 14(3): 415.
- [16] TESSIER A J, PRESSE N, RAHME E, et al. Milk, yogurt, and Cheese intake is positively associated with cognitive executive functions in older adults of the Canadian longitudinal study on aging [J]. *The Journal of Gerontology: Series A*, 2021, 76(12): 2223-2231.
- [17] ZHANG K, DAI H, LIANG W, et al. Fermented dairy foods intake and risk of cancer [J]. *International Journal of Cancer*, 2019, 144(9): 2099-2108.
- [18] TRIEU K, BHAT S, DAI Z L, et al. Biomarkers of dairy fat intake, incident cardiovascular disease, and all-cause mortality: A cohort study, systematic review, and meta-analysis [J]. *PLOS Medicine*, 2021, 18(9): e1003763.
- [19] YAKOOB M Y, SHI P, WILLETT W C, et al. circulating biomarkers of dairy fat and risk of incident diabetes mellitus among men and women in the United States in two large prospective cohorts [J]. *Circulation*, 2016, 133(17): 1645-1654.
- [20] LE ROY C I, KURILSHIKOV A, LEEMING E R, et al. Yoghurt consumption is associated with changes in the composition of the human gut microbiome and metabolome [J]. *BMC Microbiology*, 2022, 22(1): 39.
- [21] NAIMI S, VIENNOIS E, GEWIRTZ A T, et al. Direct impact of commonly used dietary emulsifiers on human gut microbiota [J]. *Microbiome*, 2021, 9(1): 66.
- [22] CHASSAING B, COMPHER C, BONHOMME B, et al. Randomized controlled-feeding study of dietary emulsifier carboxymethylcellulose reveals detrimental impacts on the gut microbiota and metabolome [J]. *Gastroenterology*, 2022, 162(3): 743-756.
- [23] 艾连中. 发酵乳制品质量安全问题及控制技术 [J]. *食品科学技术学报*, 2016, 34(1): 16-20.
- AI L Z. Quality and safety issues and control technique of fermented milk [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 34(1): 16-20.