

37 种游离脂肪酸含量分析及其在生物化工中的应用 与经济效益

刘思雪 (青岛菲优特检测有限公司, 山东 青岛 266000)

杨 雪 (隆科生物(青岛)有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要: 游离脂肪酸 (Free Fatty Acids, FFAs) 作为脂质代谢的重要产物, 在人体及动物体内发挥着多种生理功能。在猪肉脂肪中, 游离脂肪酸的种类和含量不仅影响猪肉的品质和风味, 还与人体健康密切相关。近年来, 随着生物医药健康产业的快速发展, 游离脂肪酸在疾病诊断、药物研发、营养补充以及健康管理等方面的应用潜力逐渐受到关注。本文从游离脂肪酸的分类、测定方法、含量分布、在生物医药健康产业中的应用及经济效益等方面进行探讨, 以期为相关领域的研究提供新的思路和方法。

关键词: 游离脂肪酸; 猪肉脂肪; 含量分析; 产业应用; 效益分析

0 引言

本文旨在全面分析猪肉脂肪中丁酸、己酸、辛酸至二十四碳酸 (包括多种不饱和脂肪酸如顺-9-十四一烯酸、顺-9-十六碳一烯酸、反-9-十八碳一烯酸等) 共 37 种游离脂肪酸的含量, 并探讨这些游离脂肪酸在生物医药健康产业中的应用潜力。通过对不同猪肉脂肪样品 (前腿脂肪、后腿脂肪、五花脂肪、中后部脂肪、脊部脂肪、腹部脂肪) 的游离脂肪酸含量进行测定, 并为其在生物医药健康领域的应用提供了科学依据。

1 游离脂肪酸的分类与测定方法

游离脂肪酸 (Free Fatty Acids, FFA) 是指从脂肪或油脂中分解出来的、未与其他分子 (如甘油) 结合的脂肪酸。在猪肉中, 这些脂肪酸主要来源于猪肉组织中的甘油三酯在受热、酶解或化学处理过程中的分解。

游离脂肪酸根据碳链长度和饱和度可以分为多种类型, 如饱和脂肪酸 (SFA)、单不饱和脂肪酸 (MUFA) 和多不饱和脂肪酸 (PUFA) 等。在猪肉脂肪中, 这些游离脂肪酸以不同的比例存在, 本研究采用气相色谱法 (Gas Chromatography, GC) 对猪肉脂肪中的游离脂肪酸进行测定。

该方法具有灵敏度高、分离效果好、重现性好等优点, 能够准确测定猪肉脂肪中各种游离脂肪酸的含量。在测定过程中, 先通过甲酯化反应将游离脂肪酸转化为相应的脂肪酸甲酯, 再通过气相色谱仪进行分离和检测。

2 游离脂肪酸在猪肉脂肪中的含量实验

2.1 实验材料与方法

2.1.1 样品收集与制备

本研究选取了前腿脂肪、后腿脂肪、五花脂肪、中后部脂肪、脊部脂肪、腹部脂肪等猪肉脂肪样品。每种样品均取自同一批次, 以确保实验结果的准确性。样品制备过程中, 首先称取约 0.1g 的猪肉脂肪样品, 加入内标物后经水解-乙醚溶液提取其中的脂肪。然后, 在碱性条件下进行皂化和甲酯化, 生成脂肪酸甲酯。最后, 经毛细管柱气相色谱分析, 内标法定量测定脂肪酸含量。

2.1.2 气相色谱法测定游离脂肪酸含量

本研究采用气相色谱法对游离脂肪酸进行测定。气相色谱法具有灵敏度高、分离效果好、重现性好等优点, 能够准确测定猪肉脂肪中各种游离脂肪酸的含量。在测定过程中, 首先进行仪器参数的设置, 包括柱温、载气流速、进样量等。然后, 将脂肪酸甲酯样品注入气相色谱仪中, 进行分离和检测。通过比较样品中各种脂肪酸甲酯的峰面积与内标物峰面积的比例, 可以计算出样品中各种游离脂肪酸的含量。

2.2 实验结果与分析

通过对六种猪肉脂肪样品进行测定, 得到了 37 种游离脂肪酸在猪肉脂肪中的含量分布。结果显示, 不同样品之间游离脂肪酸的含量存在差异, 但总体上呈现出一定的规律, 饱和脂肪酸如硬脂酸、花生酸的含量相对较高, 而不饱和脂肪酸如顺-9-十六碳一烯酸、顺-9-十八碳一烯酸、顺亚油酸等的含量也较高。

此外，一些长链不饱和脂肪酸如 EPA、DHA 等虽然在猪肉脂肪中的含量较低（如表 1），这些实验数据为生物医药行业的研发提供了重要的参考价值。

3 游离脂肪酸在生物医药产业中应用

3.1 临床检测与诊断

在医学领域，游离脂肪酸（FFA）的检测已成为评估人体健康状态的重要生化检查项目。作为脂质代谢、糖代谢以及内分泌机能等方面的灵敏指标，FFA 能够反映出人体内多种代谢过程的动态变化。

①脂质代谢的晴雨表。FFA（游离脂肪酸）作为脂质代谢过程中的核心组成部分，直接反映了体内脂肪分解与合成之间的动态平衡状态。当 FFA 水平出现升高时，表明体内的脂肪分解过程可能正在加速进行。这种加速的脂肪分解可能与多种生理或病理状态紧密相关，持续的 FFA 水平升高也可能预示着一些潜在的健康问题，如肥胖和脂肪肝等代谢性疾病的风险增加。同样，脂肪肝的发生也与 FFA 水平密切相关，过高的 FFA 可能通过促进脂肪在肝脏中的沉积，引发脂肪变

性，甚至导致更严重的肝脏损害。由此可见，通过监测 FFA 的动态变化，可以更早地识别出潜在的健康风险，采取针对性的生活方式干预或医疗措施，保护身体健康。

②糖代谢的敏感指标。FFA 与糖代谢之间也存在密切联系，长期 FFA 浓度的升高，被视为糖代谢异常的敏感预警信号。FFA 浓度的持续上升会扰乱葡萄糖的氧化和转运机制，使得葡萄糖的利用效率降低。同时，它还会对糖原的合成过程产生抑制作用，导致体内糖原储备减少。FFA 的升高还会促进糖异生的发生，即非糖物质转化为葡萄糖的过程，这进一步加剧了糖代谢的紊乱。这些由 FFA 引起的效应在人体内共同作用，可能逐渐导致胰岛素抵抗的出现。胰岛素抵抗是指机体对胰岛素的敏感性下降，需要更多的胰岛素才能维持正常的血糖水平。通过密切关注 FFA 的动态变化，可以及时发现糖代谢的异常。

③内分泌机能的反映。FFA 还作为内分泌系统的重要调节因子，其水平的变化能够反映出内分泌机能

表 1：猪肉脂肪中 37 种游离脂肪酸含量（GB 5009.168-2016 内标法）

样品名称	前腿脂肪	后腿脂肪	五花脂肪	中后部脂肪	脊部脂肪	腹部脂肪		
检测项目	含量	含量	含量	含量	含量	含量	检出限	定量限
	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g
丁酸	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.001	0.003
己酸	0.015	0.002	0.002	0.003	0.003	0.006	0.001	0.003
辛酸	0.016	0.012	0.011	0.021	0.010	0.015	0.001	0.003
癸酸	0.072	0.081	0.069	0.064	0.064	0.054	0.001	0.003
十一碳酸	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.001	0.003
十二碳酸	0.067	0.072	0.066	0.055	0.055	0.053	0.001	0.003
十三碳酸	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.001	0.003
十四碳酸（豆蔻酸）	1.17	1.20	1.25	0.930	0.922	0.871	0.001	0.003
顺-9-十四一烯酸（豆蔻脑酸）	0.015	0.015	0.015	0.010	0.011	0.008	0.001	0.003
十五碳酸	0.028	0.032	0.029	0.029	0.023	0.021	0.001	0.003
顺-10-十五一烯酸	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.003
十六碳酸（棕榈酸）	17.7	17.4	15.5	17.3	15.9	15.4	0.001	0.003
顺-9-十六碳一烯酸（棕榈一烯酸）	1.88	1.92	1.80	1.52	1.73	1.37	0.001	0.003
十七碳酸	0.166	0.205	0.155	0.187	0.140	0.137	0.001	0.003
顺-10-十七碳一烯酸	0.140	0.169	0.140	0.157	0.142	0.131	0.001	0.003
十八碳酸（硬脂酸）	8.73	8.84	7.38	9.77	7.38	7.74	0.001	0.003
反-9-十八碳一烯酸（反油酸）	0.027	0.023	0.025	0.027	0.024	0.023	0.001	0.003
顺-9-十八碳一烯酸（顺油酸）	26.4	28.3	25.9	29.7	32.0	31.1	0.001	0.003
反,反-9,12-十八碳二烯酸（反亚油酸）	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.001	0.003
顺,顺-9,12-十八碳二烯酸（顺亚油酸）	6.68	9.62	7.70	8.75	7.73	7.80	0.001	0.003
二十碳酸（花生酸）	0.170	0.167	0.151	0.158	0.137	0.148	0.001	0.003
顺,顺,顺-6,9,12-十八碳三烯酸	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.001	0.003
顺-11-二十碳一烯酸（花生一烯酸）	0.476	0.544	0.495	0.564	0.598	0.662	0.001	0.003
顺,顺,顺-9,12,15-十八碳三烯酸	0.392	0.617	0.493	0.434	0.394	0.393	0.001	0.003
二十一碳酸	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.001	0.003
顺,顺-11,14-二十碳二烯酸	0.432	0.472	0.392	0.472	0.442	0.490	0.001	0.003
二十二碳酸（山嵛酸）	0.011	0.007	0.007	0.005	0.005	0.005	0.001	0.003
顺,顺,顺-8,11,14-二十碳三烯酸	0.045	0.074	0.057	0.059	0.056	0.060	0.001	0.003
顺-13-二十二碳一烯酸（芥酸）	0.092	0.088	0.116	0.089	0.074	0.076	0.001	0.003
顺-11,14,17-二十碳三烯酸	0.063	0.106	0.084	0.069	0.066	0.074	0.001	0.003
顺-5,8,11,14-二十碳四烯酸（花生四烯酸 ARA）	0.090	0.167	0.127	0.153	0.153	0.135	0.001	0.003
二十三碳酸	0.001	0.001	0.004	0.004	0.003	0.003	0.001	0.003
顺-13,16-二十三碳二烯酸	0.006	0.007	0.007	0.008	0.006	0.007	0.001	0.003
二十四碳酸（木焦油酸）	0.007	0.003	0.005	0.004	0.004	0.004	0.001	0.003
顺-5,8,11,14,17-二十碳五烯酸(EPA)	0.015	0.007	0.010	0.018	0.014	0.012	0.001	0.003
顺-15-二十四一烯酸	0.011	0.009	0.010	0.010	0.006	0.006	0.001	0.003
顺-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸(DHA)	0.019	0.014	0.017	0.069	0.063	0.062	0.001	0.003

的动态平衡。例如,在某些内分泌疾病中,如甲状腺功能亢进症,患者体内 FFA 水平可能会显著升高。通过检测 FFA 水平,医生可以辅助诊断这些内分泌疾病,并为制定个性化的治疗方案提供重要参考。

④关爱心血管。高浓度的 FFA 与心血管疾病的发生和发展密切相关。FFA 水平的升高可能促进动脉粥样硬化的形成,增加心律失常的风险,并导致心肌收缩力下降。通过检测 FFA 水平,医生可以评估患者的心血管疾病风险,为早期预防和治疗提供科学依据。

3.2 药物研发

在药物研发的广阔领域中,游离脂肪酸(FFA)因其在人体内展现出的多样化生理功能而备受瞩目。这些功能包括但不限于对能量代谢的精细调节,以及在炎症反应中的积极参与。正是基于 FFA 的这些重要角色,对猪肉中 FFA 的组成及其代谢途径的深入研究,为药物研发领域带来了全新的视角和潜在的创新点。

通过细致分析猪肉中 FFA 的构成,科研人员能够更深入地理解不同脂肪酸在生物体内的代谢路径和相互作用。这种理解有助于他们发现新的药物靶点,即那些能够影响 FFA 合成、分解、转运或信号传导的关键分子。针对这些靶点开发的药物,或许能够更有效地调节人体内的 FFA 水平,从而优化能量利用,减少脂肪堆积,促进整体代谢健康。

此外,FFA 与多种生理过程之间的紧密联系也为药物研发提供依据。例如,FFA 在调节细胞信号传导、影响基因表达以及维持细胞膜稳定性等方面都发挥着重要作用。通过深入研究这些联系,科研人员可以揭示 FFA 在维持机体稳态中的精确作用机制,并据此设计出能够干预这些机制的药物。这类药物可能具有改善代谢失衡相关症状、促进健康维护等多种潜在益处。

3.3 营养补充与健康管理

在营养补充剂的开发领域,猪肉作为一种天然且丰富的脂肪酸来源,正逐渐受到人们的重视。猪肉中蕴含的多种脂肪酸,特别是那些具有独特营养价值和健康益处的成分,如 EPA(二十碳五烯酸)和 DHA(二十二碳六烯酸)等 ω -3 多不饱和脂肪酸,为营养补充剂的开发提供了宝贵的资源。

EPA 和 DHA 作为 ω -3 多不饱和脂肪酸的重要组成部分,这些脂肪酸不仅有助于维持心脏的正常功能,降低心血管疾病的风险,还能促进大脑和视觉系统的发育,提高认知能力和视力水平。通过先进的提取和纯化技术,从猪肉中高效地分离出这些宝贵的脂肪酸,利用这些纯化的脂肪酸,可以开发出多种形式的营养

补充剂,以满足不同人群的健康需求。例如,可以将这些脂肪酸添加到膳食补充剂、功能性食品或保健品中,为消费者提供便捷、高效的营养补充方案。

3.4 游离脂肪酸在生物化工市场中的应用

3.4.1 市场前景

游离脂肪酸(FFA)作为生物化工领域的重要原料,其多样化的结构和特性为众多行业提供了广阔的应用空间。以生物柴油为例,FFA 中的硬脂酸、棕榈酸等长链脂肪酸是生物柴油生产的关键原料。据统计,全球生物柴油市场规模已超过 200 亿美元,并以年均约 15% 的速度增长。其中,利用 FFA 生产的生物柴油因其环保、可再生的特性,市场需求持续上升。特别是在欧洲和北美地区,政府对生物柴油的补贴政策和强制使用规定,进一步推动了 FFA 在该领域的应用。

3.4.2 经济效益分析

在经济效益方面,FFA 的应用带来了显著的成本节约和利润增长。一方面,FFA 原料来源广泛,包括植物油、废弃油脂等,其价格相对稳定且低于传统石油原料,降低了生产成本。另一方面,FFA 生产的生物柴油等产品在市场上具有竞争力,能够满足环保法规的要求,获得政府的补贴和税收优惠。此外,FFA 在表面活性剂、药物合成、食品添加剂等领域的应用也为企业带来了额外的收入来源。

以一家生物柴油生产企业为例,该企业利用 FFA 作为原料,年产量达到 10 万吨,每吨生物柴油的售价为 800 美元,成本为 600 美元,毛利率高达 25%。同时,该企业还享受政府的补贴政策,每吨生物柴油可获得 50 美元的补贴,进一步提高了经济效益。因此,FFA 在生物化工市场中的应用不仅具有广阔的市场前景,还为企业带来了可观的经济效益。

4 结束语

本文分析了猪肉脂肪中 37 种游离脂肪酸的含量,揭示了其分布特征及应用潜力。但研究游离脂肪酸仍面临挑战,如准确测定含量、探讨疾病作用机制及制定个性化营养方案等。未来需加强跨学科合作,推动在疾病诊断、药物研发、营养补充和健康管理上的突破。

参考文献:

- [1] 陈冰瑶.肉中脂肪酸和脂肪醛同位素衍生检测方法研究[D].湖南农业大学,2021.
- [2] 焦安然.饲料纤维对猪脂质代谢与肉质性状的影响及短链脂肪酸的介导机制[D].四川农业大学,2020.
- [3] 席静宁.肌联素对猪肌肉脂肪细胞分化及脂肪酸利用的调控研究[D].西北农林科技大学,2017.