

# 基于 CiteSpace 的亚麻籽研究热点 及趋势的可视化分析

吴发亮<sup>1,2</sup>, 裴雅楠<sup>1,2</sup>, 范志国<sup>1,2</sup>, 王琴声<sup>3</sup>, 孙晓冬<sup>4</sup>, 李星科<sup>1,2</sup>

(1. 河南大学 生命科学学院, 微生物工程研究所, 河南 开封 475004; 2. 河南省应用微生物工程研究中心, 河南 开封 475004; 3. 冠九兆(广东)生物科技有限公司, 广东 佛山 528306; 4. 河南唐玺亲水胶体技术有限公司, 郑州 451150)

**摘要:** 为了促进亚麻籽的开发和利用, 基于 2013—2023 年 Web of Science 核心合集数据源, 采用 CiteSpace 软件的文献计量分析方法, 对亚麻籽相关论文发表数量, 主要发文国家、机构和作者, 关键词共现, 文献共被引进行了可视化分析, 基于此归纳出亚麻籽的研究热点, 并提出研究趋势。结果表明: 2013—2023 年, 亚麻籽领域的年发表论文数量和被引频次总体均呈现先上升后下降的趋势; 中国、印度和加拿大等国家发表论文数量最多; 埃及知识库、加拿大农业与农业食品部和中国农业科学院等是主要的研究机构; 邓乾春是该领域发表论文数量最多的作者, 其次是 Boaventura 和 Reaney; 大多数研究集中在亚麻籽油、脂肪酸、亚麻籽油的质量和性能等方面。近年来, 亚麻籽活性成分的研究以及功能性食品、药物、生物材料等开发成为新的热点。未来几年可以从亚麻籽在医药与保健品、化工和化妆品等领域中的应用, 亚麻籽的安全性研究, 亚麻籽产品质量稳定方面的研究, 亚麻籽种质资源和种植的研究等进行深入探索。

**关键词:** 亚麻籽; 功能性食品; 文献计量分析; CiteSpace; 可视化分析

中图分类号: TS222; S565.9 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)08-0111-09

## Visual analysis of research hotspots and trends of flaxseed based on CiteSpace

WU Faliang<sup>1,2</sup>, PEI Yanan<sup>1,2</sup>, FAN Zhiguo<sup>1,2</sup>, WANG Qinsheng<sup>3</sup>,  
SUN Xiaodong<sup>4</sup>, LI Xingke<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Microbiology, School of Life Sciences, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China; 2. Engineering Research Center for Applied Microbiology of Henan Province, Kaifeng 475004, Henan, China; 3. Guanjiuzhao (Guangdong) Biotechnology Co., Ltd., Foshan 528306, Guangdong, China; 4. Henan Tangxi Hydrocolloid Technology Co., Ltd., Zhengzhou 451150, China)

**Abstract:** In order to promote the development and use of flaxseed, based on the data source of Web of Science Core Collection during 2013 - 2023, the bibliometric analysis method of CiteSpace software was used to analyze the number of publications, major issuing countries, institutions and authors, keyword co-occurrence, and literature co-citation of papers related to flaxseed were visualized and analyzed, based on this, the research hotspots of flaxseed were summarized, and the trends were analyzed. The results showed that from 2013 to 2023, the annual number of papers and citation frequency in the field of

收稿日期: 2023-12-21; 修回日期: 2024-04-24

基金项目: 河南大学与河南唐玺亲水胶体技术有限公司和冠九兆(广州)生物科技有限公司合作开发项目

作者简介: 吴发亮(2003), 男, 在读本科, 生物工程专业 (E-mail) light\_lll128@henu.edu.cn.

通信作者: 李星科, 副教授, 博士 (E-mail) tianxing1230@126.com.

flaxseed showed an increasing and then decreasing trend overall. China, India, and Canada were the countries with the most published papers. Egyptian Knowledge Bank, Agriculture & Agric Food Canada, and Chinese Academy of Agricultural Sciences were the major research institutions. Deng Qianchun was the author with

the most published papers in this field, followed by Boaventura and Reaney. Most of the studies focused on flaxseed oil, fatty acids, quality and properties of flaxseed oil. In recent years, the study of active components of flaxseed and the development of functional foods, drugs and biomaterials have become new hotspots. The research in the next few years can be explored in depth from the application of flaxseed in the fields of medicine, health product, chemical industry, cosmetics and other fields, the safety of flaxseed, the stabilization of the quality of the product of flaxseed, the germplasm resources and cultivation of flaxseed.

**Key words:** flaxseed; functional food; bibliometric analysis; CiteSpace; visual analysis

亚麻是一种具有重要经济价值的油料作物,亚麻籽是亚麻的种子,含有约 40% 的油脂<sup>[1]</sup>、28% 的纤维、20% 的蛋白质<sup>[1-3]</sup>,同时还富含  $\alpha$ -亚麻酸、木酚素、多酚、植物甾醇、维生素 E 等多种营养成分<sup>[4-5]</sup>。在欧洲及美国、加拿大、日本等发达国家,亚麻籽是最流行的健康食品配料之一。2014 年,加拿大卫生部批准了全粒亚麻籽降低胆固醇的健康声称。2016 年日本亚麻籽的需求量达到 1 万 t<sup>[6]</sup>。2017 年我国国家卫生健康委员会发布公告,明确了亚麻籽可作为普通食品,适用 GB 19300—2014《食品安全国家标准 坚果与籽类食品》<sup>[7]</sup>。据《本草纲目》记载,亚麻籽有润燥,祛风,治疗麻风、皮肤瘙痒、眩晕和便秘等功效。大量研究也表明,亚麻籽中多种营养和活性成分能够有效预防心血管疾病<sup>[8]</sup>、肥胖<sup>[9]</sup>和癌症<sup>[10]</sup>等各种疾病的发生,同时还具有抗炎<sup>[11]</sup>、抗衰老<sup>[12]</sup>、抗抑郁<sup>[13]</sup>和抗病毒<sup>[14]</sup>等功效。由此可见,亚麻籽是食品、药品和保健品的上好原料。

近年来,国外许多发达国家关于亚麻籽的研究主要集中在亚麻籽功能性保健食品、药品的开发<sup>[15-17]</sup>,以及亚麻籽作为新型补充药物的可能作用机制<sup>[18]</sup>等。目前国内对亚麻籽的研究主要集中在亚麻籽油相关方面<sup>[19]</sup>,而亚麻籽油加工的副产物亚麻籽粕虽含有丰富的膳食纤维、蛋白质、维生素、微量元素等生理活性物质,但其主要被当作动物饲料的原料<sup>[20]</sup>,造成宝贵再生资源的巨大浪费,而且亚麻籽的潜在营养健康价值远未得到有效开发利用。因此,本文采用基于 CiteSpace 软件的文献计量分析方法,对 2013—2023 年亚麻籽相关研究发表的部分论文进行梳理,通过可视化分析发现亚麻籽研究的热点和趋势,以期为亚麻籽产业发展提供一定的参考依据。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 数据来源

本文使用 Web of Science (WoS) 核心合集作为

数据源。通过标题检索的方式,检索式  $TI = (\text{flaxseed}) \text{ OR } TI = (\text{linseed})$ ,时间范围自定义为 2013-01-01 至 2023-09-30,文献类型为 Article。

### 1.2 研究方法

采用 CiteSpace 软件进行回顾性计量分析,英文文献导入 CiteSpace 软件,设定时限为 2013 年 1 月—2023 年 12 月,时间切片设为 1 年,节点类型分别选择国家、机构、作者、关键词和被引文献,默认 Cosine 算法,调整  $g$ -index 参数进行制图,网络裁剪 Pruning 参数设置为 None。

## 2 结果与分析

### 2.1 年发表论文数量

2013-01-01 至 2023-09-30 共检索出 2 504 篇论文。每年发表的论文数量及被引频次见图 1。

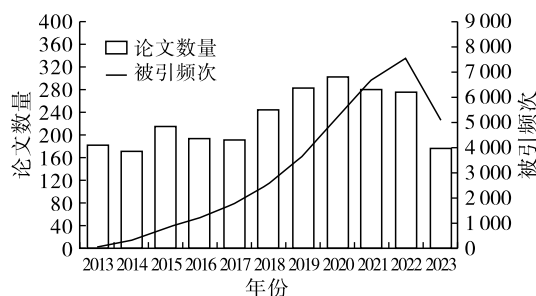


图 1 亚麻籽领域年发表论文数量及被引频次

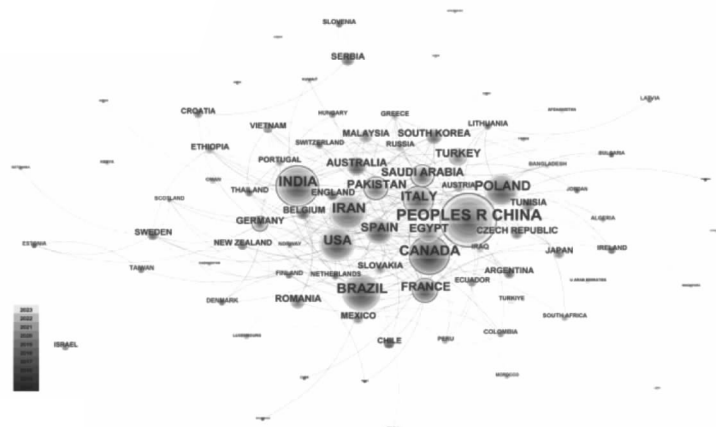
由图 1 可看出,亚麻籽研究领域的年发表论文数量和被引频次总体均先上升后下降,其中:2020 年论文数量最多,达到 302 篇,2022 年被引频次最多,达到 7 526 次。从总体分析来看,亚麻籽领域的论文数量至 2020 年后有所减少,2023 年的被引频次有所下降,排除 2023 年的实际论文数量不完整因素外,造成这种结果的原因可能是亚麻籽的研究进入了瓶颈期,更深入的研究亟待发掘,也可能说明其研究热度开始逐渐降低。

### 2.2 国家合作网络

以国家为节点,运行 CiteSpace 软件,对 WoS 数

数据库文献进行分析,结果见图 2。图 2 中显示了 95 个节点和 437 条连接线段,表明共有 95 个国家开展了亚麻籽领域的研究,国家间的合作类型有 437 种。表 1 为亚麻籽领域论文产量最高的 10 个国家、机构和作者。由表 1 可看出,发表论文最多的前 10 个国家分别是中国、印度、加拿大、巴西、伊朗、美国、波

兰、意大利、西班牙和法国,中国的论文数量最多(424 篇),其次是印度(264 篇)、加拿大(240 篇)。经数据分析发现,国际上关于亚麻籽领域研究交流十分密切,尤其是发表论文数量较高的国家之间的合作更为广泛。



注:节点代表国家,节点的大小表示发表论文的数量,连接线段表示合作关系

图 2 亚麻籽领域研究国家合作网络

表 1 亚麻籽领域论文产量最高的 10 个国家、机构和作者

国家	数量	机构	数量	作者	数量
CHINA 中国	424	Egyptian Knowledge Bank (EKB) 埃及知识库	77	Deng Qianchun 邓乾春	25
INDIA 印度	264	Agriculture & Agric Food Canada 加拿大农业与农业食品部	74	Boaventura	21
CANADA 加拿大	240	Chinese Academy of Agricultural Sciences 中国农业科学院	73	Reaney	17
BRAZIL 巴西	220	Indian Council of Agricultural Research (ICAR) 印度农业研究委员会	55	Yu Xiao 禹晓	13
IRAN 伊朗	202	University of Saskatchewan 萨斯喀彻温大学	50	Huang Fenghong 黄凤洪	13
USA 美国	185	University of Manitoba 曼尼托巴大学	47	Pierce	13
POLAND 波兰	170	Ministry of Agriculture & Rural Affairs, PRC 中华人民共和国农业农村部	45	Aliani	11
ITALY 意大利	128	Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences 中国农业科学院油料作物研究所	44	Bartkowiak	9
SPAIN 西班牙	108	INRAE 法国国家农业食品与环境研究院	40	Drozlowska	9
FRANCE 法国	97	Council of Scientific & Industrial Research (CSIR) – India 印度科学与工业研究理事会	34	Geng Fang 耿放	9

### 2.3 机构合作网络

分析发现,共有 298 家机构发表了亚麻籽相关研究的论文,机构之间有 434 种合作关系。根据发表论文的数量,发表论文最多的是埃及知识库 [Egyptian Knowledge Bank (EKB)](77 篇),其次是加拿大农业与农业食品部(Agriculture & Agric Food

Canada)(74 篇)、中国农业科学院(Chinese Academy of Agricultural Sciences)(73 篇)(见表 1)。图 3 为亚麻籽领域研究频率较高的国际机构合作网络。从图 3 可以看出,近年来各国国内机构之间的合作比较密切,机构之间的合作限于几个主要的研究国家之间。节点的中心性是一种图论属性,用于

量化节点在网络中位置的重要性,一个常用的中心性指标是中介中心性<sup>[21]</sup>。CiteSpace 软件中,中介中心性作为测量科学计量单元的计量指标,紫色圆环对高中介中心性节点进行显著性标示,确定了具有最重要研究兴趣的领域(即研究热点)。从中介中心性分析可以看出,埃及知识库、加拿大农业与农业食品部、印度农业研究委员会〔Indian Council of

Agricultural Research (ICAR)〕、萨斯喀彻温大学 (University of Saskatchewan)、曼尼托巴大学 (University of Manitoba) 和法国国家农业食品与环境研究院(INRAE)的节点有比较明显的紫色外环(中介中心性 >0.1),说明它们是目前亚麻籽的核心研究机构,领导当前亚麻籽的相关研究,具有重要的参与意义。

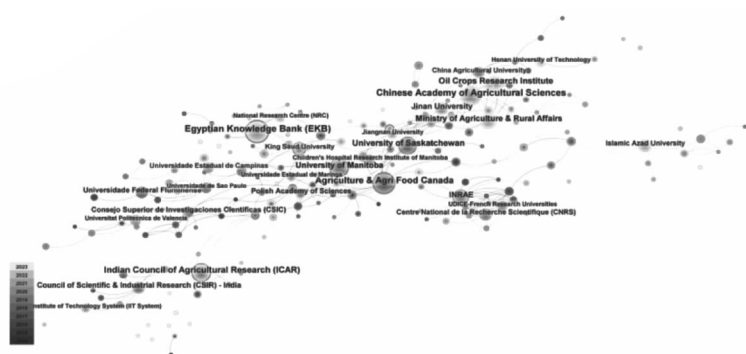


图3 亚麻籽领域研究频率较高的国际机构合作网络

2.4 作者合作网络

对亚麻籽领域发表论文的作者统计发现,邓乾春(25 篇)是该领域发表论文最多的作者,其次是 Boaventura(21 篇)和 Reaney(17 篇)(见表 1)。图 4 为亚麻籽领域研究作者合作网络。如图 4 所示,作者合作网络共有 286 个节点和 373 条连接线段。这

些作者致力于该领域的相关研究,奠定了知识基础,通过跟踪他们的研究方向,可以探索亚麻籽的相关研究趋势,但各组作者之间的合作明显很少,这可能是由于亚麻籽领域有多个研究方向,而不同组之间研究方向有所不同。



图4 亚麻籽领域研究作者合作网络

2.5 关键词共现分析

图 5 为亚麻籽领域研究关键词共现网络。如图 5 所示,关键词共有 294 个节点和 2 788 条连接线段,表 2 列出了前 20 个计数最高的关键词及其中介中心性。出现频率最高的两个关键词是亚麻籽油 (flaxseed oil、linseed oil),另外还包括脂肪酸 (fatty acids)、α - 亚麻酸 (alpha linolenic acid)、共轭亚油酸 (conjugated linoleic acid)、多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acids)、氧化稳定性 (oxidative stability)、抗氧化活性 (antioxidant activity)、稳定性 (stability)、氧化应激性 (oxidative stress) 等。

突现关键词是指某个关键词在一段时间内突然大量出现,表明该关键词所代表的研究方向的流行度突然上升。图 6 为 2013—2023 年亚麻籽领域前 20 个突现关键词。如图 6 所示,由脂质 (lipids)、饮食 (diet)、n3 脂肪酸 (n3 fatty acids) 可推断,亚麻籽中脂质或脂肪酸等成分在食品中的应用研究是 2013—2015 年的热点,如开发稳定的亚麻籽油乳液作为 Omega - 3 脂肪酸潜在的输送体系<sup>[22]</sup>,另外,代谢综合征 (metabolic syndrome)、胰岛素抗体 (insulin resistance) 等关键词表明亚麻籽领域研究重点在 2016 年左右开始转移至其营养功能,如亚麻籽

油通过抗炎和调节小鼠肠道微生物群来改善酒精性肝病<sup>[23]</sup>,来自亚麻籽油的 *Omega*-3 脂肪酸通过 GPR120 受体保护肥胖小鼠免受糖尿病视网膜病变的侵害<sup>[24]</sup>。近年来,温度 (temperature)、参数

( parameters )、影 响 ( impact )、多 糖 ( polysaccharides )、活性成分 ( bioactive compounds ) 等关键词涉及亚麻籽在提取工艺、生物活性成分分析等方面的研究<sup>[25-26]</sup>。

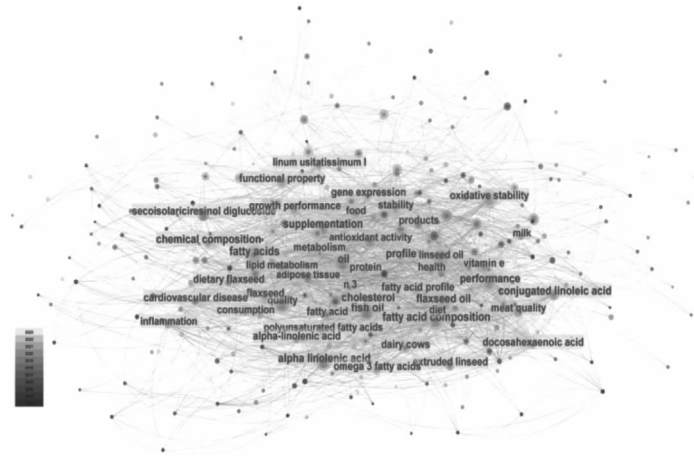
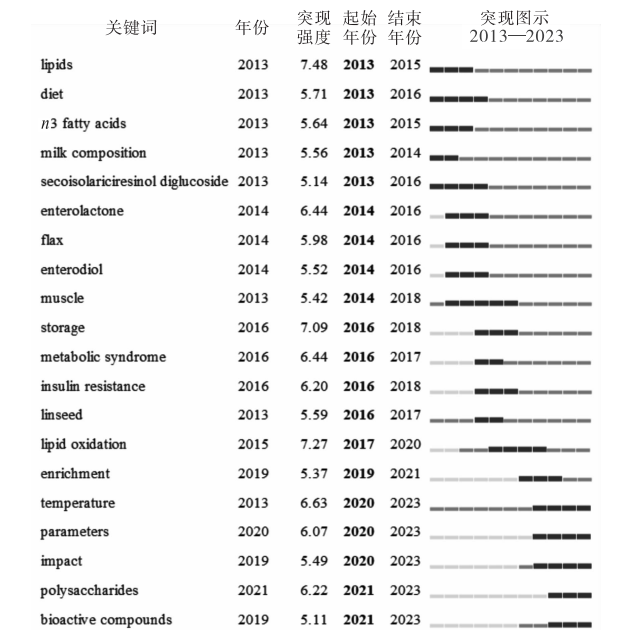


图 5 亚麻籽领域研究关键词共现网络

表 2 关键词共现分析中计数最高的前 20 个关键词

排名	计数	中介中心性	关键词	排名	计数	中介中心性	关键词
1	302	0.06	flaxseed oil	11	155	0.03	antioxidant activity
2	275	0.03	linseed oil	12	141	0.04	<i>alpha</i> linolenic acid
3	226	0.05	fatty acids	13	134	0.04	stability
4	219	0.03	quality	14	116	0.03	conjugated linoleic acid
5	178	0.05	performance	15	115	0.03	polyunsaturated fatty acids
6	174	0.03	supplementation	16	113	0.03	metabolism
7	172	0.03	oxidative stability	17	107	0.03	food
8	171	0.04	oil	18	106	0.04	vegetable oils
9	163	0.04	fish oil	19	101	0.02	acid
10	160	0.04	fatty acid composition	20	101	0.02	oxidative stress



注:突现图示中黑色为关键词突现年份,深灰色为出现但不突现年份,浅灰色为未出现年份

图 6 2013—2023 年亚麻籽领域前 20 个突现关键词

### 2.6 文献共被引分析

共被引分析指同时被一篇或多篇论文所引证的两篇或多篇论文之间的关系,共被引强度越大说明两者在内容上越相似,联系越紧密。利用 CiteSpace 聚类功能进行文献共被引的聚类分析,挖掘相似文献的共同主题。将 2013—2023 年该领域所有文献按聚类网络的层次顺序进行分类,结果见图 7。由图 7 可看出,共生成 10 个聚类结果,按聚类规模大小依次从#0 至#9 编号分类,分别为#0 亚麻籽油微胶囊 ( flaxseed oil microcapsule )、#1 亚麻籽摄入 ( flaxseed consumption )、#2 亚麻籽胶 ( flaxseed gum )、#3 有益效果 ( beneficial effect )、#4 亚麻籽蛋白 ( flaxseed protein )、#5 奶牛 ( dairy cow )、#6 马来酸酐化亚麻籽油 ( maleinized linseed oil )、#7 肉鸡 ( broiler chicken )、#8 其他功能特性 ( other functional properties )、#9 关联映射 ( association mapping )。聚类网络的模块化值 ( *Q* 值 ) 为 0.667 9,大于 0.3,认为划分出来的聚类是显著的,平均轮廓值 ( *S* 值 ) 为

0.879 4, 大于 0.7, 表明聚类非常成功, 聚类具有较高的效率和可信度<sup>[27]</sup>。

聚类结果显示了亚麻籽领域相关的研究方向和新兴趋势, 对这 10 个聚类的研究方向进行归纳总结, 可以分为 5 个方面: #0 主要是亚麻籽有效成分

的提取工艺与保存; #1、#5、#6、#7 主要是亚麻籽在食品、医药以及生物材料等领域的加工应用; #2、#3、#4、#8 主要是亚麻籽有效成分及功能特性的研究; #9 主要是亚麻籽遗传特性的研究及亚麻籽优良品种的开发。

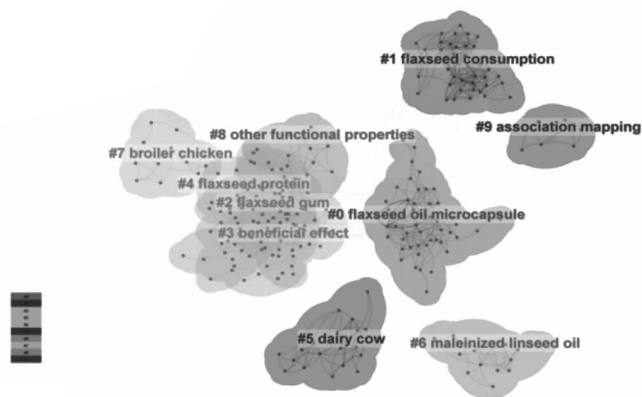


图7 文献共被引聚类网络

### 3 讨论

#### 3.1 研究热点

通过对知识图谱进行解析, 并对亚麻籽的研究现状进行梳理和总结, 将亚麻籽的研究热点归纳为以下 5 个方面。

##### (1) 亚麻籽在食品工业中的应用

亚麻籽胶作为一种杂多糖, 主要作为食品增稠剂、胶凝剂、稳定剂应用于食品工业<sup>[28-30]</sup>, 具有改善食品质构的作用。亚麻籽蛋白含有人体所必需的 8 种氨基酸, 可以用于制作植物肉, 以满足越来越多人对素食和健康饮食的需求<sup>[31-33]</sup>。亚麻籽油  $\alpha$ -亚麻酸含量丰富<sup>[34]</sup>, 作为健康油脂逐步被人们所重视。

##### (2) 亚麻籽在医药以及生物材料领域中的应用

近年来亚麻籽在医药和生物材料领域的应用备受关注<sup>[35-38]</sup>。如亚麻籽油微胶囊化将促进生物制药的发展<sup>[39]</sup>, 马来酸酐化亚麻籽油作为生物基材料以提高复合材料的延展性<sup>[40]</sup>、韧性<sup>[41]</sup>、相容性<sup>[42]</sup>等。

##### (3) 亚麻籽在其他领域中的应用

在饲料行业, 亚麻籽粕作动物饲料配料可以提高蛋、奶、肉等禽畜产品不饱和脂肪酸含量以提高营养价值, 生产特种禽畜产品以提高经济效益<sup>[43]</sup>, 以及有助于提高免疫力以改善动物健康<sup>[44-46]</sup>。在化妆品行业, 亚麻籽胶是良好的保湿剂, 亚麻籽木脂素可以防止氧化, 是亚麻籽油及其乳液的有效保护剂, 这使其成为化妆品中油性产品的潜在替代防腐剂<sup>[47-48]</sup>。在油漆工业, 由于亚麻籽油碘值较高, 具

有较好的干性和光泽度, 可以改善油漆的流动性和附着力, 同时提高漆膜的硬度和耐磨性, 在油漆配方中具有很高的应用价值<sup>[49]</sup>。

##### (4) 亚麻籽产品的质量控制研究

通过挤压、去皮、微波、烘烤、蒸煮、发芽和发酵等预处理方法, 可以提高亚麻籽的功能特性, 得到系列亚麻籽产品, 但不同来源和不同加工工艺得到的产品质量差别很大<sup>[50]</sup>, 因此其质量控制也是亟须解决的问题<sup>[51-53]</sup>。另外, 亚麻籽油富含多不饱和脂肪酸, 极易氧化降解, 造成亚麻籽油的品质不稳定, 可通过指纹图谱等鉴别技术, 保证亚麻籽产品的质量。

#### 3.2 研究趋势

①随着亚麻籽功能特性的不断发掘, 其在医药与保健品中的研究值得深入, 在化工、化妆品等新领域的应用也在逐步展开。②亚麻籽虽然存在许多的益处, 但亚麻籽中含有亚麻苦苷、百脉根苷等生氰糖苷有毒物质, 影响了亚麻籽的综合应用, 建立多种去除亚麻籽中生氰糖苷的方法, 提高亚麻籽的安全性也是未来的一个研究趋势。③亚麻籽产品亚麻籽油、亚麻籽粉、亚麻籽乳液等因大量不饱和双键的存在, 使其很不稳定, 容易受到外部因素(氧气、水分、热、光及金属离子等)的影响而发生氧化、异构化反应和聚合反应, 且会酸败产生不良气味, 降低产品的风味品质和营养价值, 甚至产生对人体有害的物质, 因此未来几年研究需要在亚麻籽产品质量稳定方面有所突破。④随着亚麻籽需求的增大, 对亚麻籽种质资源和种植提出了新的要求, 也是未来努力的方向。

#### 4 结束语

有关亚麻籽研究的文献主要发表在中国、印度、加拿大、巴西和伊朗,发表论文数量最多的机构是埃及知识库、加拿大农业与农业食品部和中国农业科学院。在亚麻籽领域,不同的国家和地区之间的合作比较紧密,但是合作限于几个主要的研究国家之间,且各个研究小组之间的合作非常少。结合关键词和共被引文献分析,该领域的研究主要在亚麻籽油、脂肪酸、亚麻籽油的质量和性能等方面。亚麻籽的研究仍存在很大的空间,未来几年的研究可以从亚麻籽在医药与保健品、化工、化妆品等领域中的应用,亚麻籽的安全性研究,亚麻籽产品质量稳定方面的研究,亚麻籽种质资源和种植的研究等方面进行深入探索。

本研究也存在一些局限性。首先,只检索了WoS中的参考文献,但并非所有出版物都被检索到。其次,CiteSpace只分析出版物的主要结论和关键词,而来自全文的信息被忽略了。尽管存在一些局限性,但本研究为了解亚麻籽当前的研究进展、热点和未来的研究趋势提供了新的视角。

#### 参考文献:

- [1] GANORKAR P M, JAIN R K. Flaxseed: A nutritional punch[J]. *Int Food Res J*, 2013, 20(2): 519–525.
- [2] MORRIS M. Introduction; History of the cultivation and uses of flaxseed[M]. Boca Raton: CRC Press, 2003: 13–33.
- [3] MORRIS D H. Flax: A health and nutrition primer[M]. Manitoba, Canada: Flax Council of Canada, 2003: 9–19.
- [4] DAVE OOMAH B. Flaxseed as a functional food source[J]. *J Sci Food Agric*, 2001, 81(9): 889–894.
- [5] KAJLA P, SHARMA A, SOOD D R. Flaxseed: A potential functional food source[J]. *J Food Sci Technol*, 2015, 52(4): 1857–1871.
- [6] 魏丽娜, 张守文. 亟待深度研发应用的健康食品配料: 亚麻籽[J]. *中国食品添加剂*, 2019, 30(10): 43–47.
- [7] 食品安全国家标准 坚果与籽类食品: GB 19300—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [8] BLOEDON L T, BALIKAI S, CHITTAMS J, et al. Flaxseed and cardiovascular risk factors: Results from a double blind, randomized, controlled clinical trial[J]. *J Am Coll Nutr*, 2008, 27(1): 65–74.
- [9] BHATHENA S J, ALI A A, HAUDENSCHILD C, et al. Dietary flaxseed meal is more protective than soy protein concentrate against hypertriglyceridemia and steatosis of the liver in an animal model of obesity[J]. *J Am Coll Nutr*, 2003, 22(2): 157–164.
- [10] DELUCA J A A, GARCIA-VILLATORO E L, ALLRED C D. Flaxseed bioactive compounds and colorectal cancer prevention[J/OL]. *Curr Oncol Rep*, 2018, 20(8): 59 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.1007/s11912-018-0704-z>.
- [11] ZHU L, SHA L, LI K, et al. Dietary flaxseed oil rich in  $\omega$ -3 suppresses severity of type 2 diabetes mellitus via anti-inflammation and modulating gut microbiota in rats[J/OL]. *Lipids Health Dis*, 2020, 19(1): 20 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-1167-4>.
- [12] SUN X, YU J, WANG Y, et al. Flaxseed oil ameliorates aging in *d*-galactose induced rats via altering gut microbiota and mitigating oxidative damage[J]. *J Sci Food Agric*, 2022, 102(14): 6432–6442.
- [13] HAN Y, DENG X, ZHANG Y, et al. Antidepressant-like effect of flaxseed in rats exposed to chronic unpredictable stress[J/OL]. *Brain Behav*, 2020, 10(6): e01626 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.1002/brb3.1626>.
- [14] LIANG S, LI X, MA X, et al. A flaxseed heteropolysaccharide stimulates immune responses and inhibits hepatitis B virus[J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 136: 230–240.
- [15] LIU S, LOW N H, NICKERSON M T. Entrapment of flaxseed oil within gelatin-gum Arabic capsules[J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2010, 87(7): 809–815.
- [16] JIANG X. Preparation of flaxseed oil microcapsules using flaxseed gum as wall material[J]. *J Food Sci*, 2013, 34(4): 80–82.
- [17] TOURÉ A, XU X. Flaxseed lignans: Source, biosynthesis, metabolism, antioxidant activity, bio-active components, and health benefits[J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2010, 9(3): 261–269.
- [18] TAHERMOHAMMADI H, KAVEH S, SADR S. Possible effect and mechanism of action of flaxseed on cystic fibrosis pulmonary disorder: A medical hypothesis[J]. *Int J Pediatr*, 2021, 9(9): 14400–14412.
- [19] YANG J, WEN C, DUAN Y, et al. The composition, extraction, analysis, bioactivities, bioavailability and applications in food system of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil: A review[J]. *Trends Food Sci Technol*, 2021, 118: 252–260.
- [20] XU L, WEI Z, GUO B, et al. Flaxseed meal and its application in animal husbandry: A review[J/OL]. *Agriculture*, 2022, 12(12): 2027 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122027>.
- [21] FREEMAN L C. Centrality in social networks conceptual clarification[J]. *Soc Netw*, 1978, 1(3): 215–239.
- [22] GOYAL A, SHARMA V, UPADHYAY N, et al. Development of stable flaxseed oil emulsions as a potential delivery system of  $\omega$ -3 fatty acids[J]. *J Food Sci*

- Technol, 2015, 52(7): 4256–4265.
- [23] ZHANG X, WANG H, YIN P, et al. Flaxseed oil ameliorates alcoholic liver disease via anti-inflammation and modulating gut microbiota in mice [J/OL]. *Lipids Health Dis*, 2017, 16(1): 44 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0431-8>.
- [24] DÁTILO M N, SANT'ANA M R, FORMIGARI G P, et al. *Omega-3* from flaxseed oil protects obese mice against diabetic retinopathy through GPR120 receptor [J/OL]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 14318 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32553-5>.
- [25] KOUAMÉ K J E P, BORA A F M, LI X, et al. Novel trends and opportunities for microencapsulation of flaxseed oil in foods: A review [J/OL]. *J Funct Foods*, 2021, 87: 104812 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104812>.
- [26] PULIGUNDA P, LIM S. A review of extraction techniques and food applications of flaxseed mucilage [J/OL]. *Foods*, 2022, 11(12): 1677 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.3390/foods11121677>.
- [27] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能 [J]. *科学学研究*, 2015, 33(2): 242–253.
- [28] HELLEBOIS T, ADDIEGO F, GAIANI C, et al. Unravelling the functionality of anionic and non-ionic plant seed gums on milk protein cryogels conveying *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG [J/OL]. *Carbohydr Polym*, 2024, 323: 121376 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121376>.
- [29] LORENC F, JAROŠOVÁ M, BEDRNÍČEK J, et al. Structural characterization and functional properties of flaxseed hydrocolloids and their application [J/OL]. *Foods*, 2022, 11(15): 2304 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.3390/foods11152304>.
- [30] LIU J, SHIM Y Y, TSE T J, et al. Flaxseed gum a versatile natural hydrocolloid for food and non-food applications [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2018, 75: 146–157.
- [31] SHAO J, YANG J, JIN W, et al. Regulation of interfacial mechanics of soy protein via co-extraction with flaxseed protein for efficient fabrication of foams and emulsions [J/OL]. *Food Res Int*, 2024, 175: 113673 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113673>.
- [32] MIN C, MA W, KUANG J, et al. Textural properties, microstructure and digestibility of mungbean starch-flaxseed protein composite gels [J/OL]. *Food Hydrocolloid*, 2022, 126: 107482 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107482>.
- [33] RIAZI F, TEHRANI M M, LAMMERS V, et al. Unexpected morphological modifications in high moisture extruded pea-flaxseed proteins: Part I, topological and conformational characteristics, textural attributes, and viscoelastic phenomena [J/OL]. *Food Hydrocolloid*, 2023, 136: 108304 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108304>.
- [34] 李哲, 贾有青, 吴隆坤, 等. 葡萄籽-亚麻籽调和油的制备及理化性质测定 [J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(3): 116–120, 126.
- [35] GOYAL A, SHARMA V, UPADHYAY N, et al. Flax and flaxseed oil: An ancient medicine & modern functional food [J]. *J Food Sci Technol*, 2014, 51(9): 1633–1653.
- [36] CALIGIURI S P, AUKEMA H M, RAVANDI A, et al. Elevated levels of pro-inflammatory oxylipins in older subjects are normalized by flaxseed consumption [J]. *Exp Gerontol*, 2014, 59: 51–57.
- [37] KHALESİ S, IRWIN C, SCHUBERT M. Flaxseed consumption may reduce blood pressure: A systematic review and meta-analysis of controlled trials [J]. *J Nutr*, 2015, 145(4): 758–765.
- [38] HUTCHINS A M, BROWN B D, CUNNANE S C, et al. Daily flaxseed consumption improves glycemic control in obese men and women with pre-diabetes: A randomized study [J]. *Nutr Res*, 2013, 33(5): 367–375.
- [39] YAKDHANE A, LABIDI S, CHAABANE D, et al. Microencapsulation of flaxseed oil. state of art [J/OL]. *Processes*, 2021, 9(2): 295 [2023–12–21]. <https://doi.org/10.3390/pr9020295>.
- [40] FERRI J M, GARCIA-GARCIA D, SÁNCHEZ-NACHER L, et al. The effect of maleinized linseed oil (MLO) on mechanical performance of poly(lactic acid)-thermoplastic starch (PLA-TPS) blends [J]. *Carbohydr Polym*, 2016, 147: 60–68.
- [41] FERRI J M, GARCIA-GARCIA D, MONTANES N, et al. The effect of maleinized linseed oil as biobased plasticizer in poly(lactic acid)-based formulations [J]. *Polym Int*, 2017, 66(6): 882–891.
- [42] QUILES-CARRILLO L, MONTANES N, SAMMON C, et al. Compatibilization of highly sustainable polylactide/almond shell flour composites by reactive extrusion with maleinized linseed oil [J]. *Ind Crops Prod*, 2018, 111: 878–888.
- [43] MRIDULA D, KAUR D, NAGRA S S, et al. Growth performance and quality characteristics of flaxseed-fed broiler chicks [J]. *J Appl Anim Res*, 2015, 43(3): 345–351.
- [44] CAROPRESE M, MARZANO A, MARINO R, et al. Flaxseed supplementation improves fatty acid profile of cow milk [J]. *J Dairy Sci*, 2010, 93(6): 2580–2588.
- [45] PI Y, MA L, WANG H, et al. Rubber seed oil and flaxseed oil supplementation on serum fatty acid profile,



- oxidation stability of serum and milk, and immune function of dairy cows[J]. *Asian – Australas J Anim Sci*, 2019, 32(9): 1363 – 1372.
- [46] PARK B K, SHIN J, SON G, et al. Effects of full fat oil seeds on milking performance, milk composition and milk quality in lactating Holstein cows[J]. *J Anim Feed Sci*, 2023, 32(2): 189 – 197.
- [47] PAG A I, RADU D G, DRGNESECU D, et al. Flaxseed cake: A sustainable source of antioxidant and antibacterial extracts [J]. *Cell Chem Technol*, 2014, 48 (3/4): 265 – 273.
- [48] HANO C, CORBIN C, DROUET S, et al. The lignan (+) – secoisolariciresinol extracted from flax hulls is an effective protectant of linseed oil and its emulsion against oxidative damage[J/OL]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2017, 119(8): 219 [2023 – 12 – 21]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600219>.
- [49] ÖZCANM M, USLU N. Investigation of changes in some chemical properties, bioactive compounds, antioxidant activity, phenolic and fatty acid profiles of flaxseed and oils [J/OL]. *Food Process Preserv*, 2022, 46 (11): 17091 [2023 – 12 – 21]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17091>.
- [50] DZUVOR C K O, TAYLOR J T, ACQUAH C, et al. Bioprocessing of functional ingredients from flaxseed [J/OL]. *Molecules*, 2018, 23 (10): 2444 [2023 – 12 – 21]. <https://doi.org/10.3390/molecules23102444>.
- [51] ZHANG S, CHEN Y, MCCLEMENTS D J, et al. Composition, processing, and quality control of whole flaxseed products used to fortify foods [J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2023, 22(1): 587 – 614.
- [52] YU X, DUAN Z Q, QIN X P, et al. Elucidation of the structure, antioxidant, and interfacial properties of flaxseed proteins tailored by microwave treatment [J]. *J Integr Agric*, 2023, 22(5): 1574 – 1589.
- [53] ZHANG S, CHEN H, GENG F, et al. Solvent – free encapsulation of  $\beta$  – carotene in natural flaxseed oil bodies induced via tepidity – physical field treatment: Formation, characteristic and stability [J/OL]. *Food Hydrocolloid*, 2023, 144: 108913 [2023 – 12 – 21]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108913>.
- 
- (上接第86页)
- [15] 赵纪莹, 王娜娜, 董宇. 河南省市售食用植物油中邻苯二甲酸酯类塑化剂污染状况调查[J]. *现代预防医学*, 2020, 47(4): 608 – 611.
- [16] 陈翠兰. 酶解与化学改性协同制备新型淀粉基吸附材料[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [17] 尧梅香, 荣利远, 王诚远, 等. 多孔淀粉的制备及其在食品领域的应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(20): 440 – 448.
- [18] 李菊娣, 李薇, 马宏飞, 等. 交联淀粉对孔雀石绿吸附性能研究[J]. *应用化工*, 2021, 50(10): 2687 – 2690, 2705.
- [19] 封润田. 化学改性天然原料吸附剂制备及对铅铜离子吸附性能研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2022.
- [20] JUNLAPONG K, MAIJAN P, CHAIBUNDIT C, et al. Effective adsorption of methylene blue by biodegradable superabsorbent cassava starch – based hydrogel [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 158: 258 – 264.
- [21] XIE Y, ZHANG B, LI M N, et al. Effects of cross – linking with sodium trimetaphosphate on structural and adsorptive properties of porous wheat starches [J]. *Food Chem*, 2019, 289: 187 – 194.
- [22] LI W, LIU X, WANG Y N, et al. Analyzing the evolution of membrane fouling via a novel method based on 3D optical coherence tomography imaging [J]. *Environ Sci Technol*, 2016, 50(13): 6930 – 6939.
- [23] 李华, 康丹辉, 陆启玉. 马铃薯淀粉改性及其吸附茶多酚的条件优化[J]. *中国食品添加剂*, 2019, 30(5): 62 – 69.
- [24] LI W, SU X, PALAZZOLO A, et al. Reverse osmosis membrane, seawater desalination with vibration assisted reduced inorganic fouling [J]. *Desalination*, 2017, 417: 102 – 114.
- [25] 刘佳. 淀粉基口服结肠靶向生物粘附给药系统粘附行为及药效学研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [26] 高雪琴, 袁玉超, 刘胜利, 等. 不同类型木薯变性淀粉对猪肉饼品质影响的对比研究[J]. *现代牧业*, 2017, 1(3): 28 – 33.
- [27] 张明明, 刘玉兰, 马宇翔, 等. 固相萃取 – 气相色谱 – 质谱法测定食用油中7种邻苯二甲酸酯类塑化剂[J]. *中国油脂*, 2015, 40(2): 56 – 60.
- [28] SHI L K, ZHANG M M, LIU Y L. Concentration and survey of phthalic acid esters in edible vegetable oils and oilseeds by gas chromatography – mass spectrometry in China [J]. *Food Control*, 2016, 68: 118 – 123.
- [29] 王小军, 张玲娟, 苏海岩. 变性淀粉在裹粉中的应用 [J]. *现代食品*, 2018(9): 179 – 181.
- [30] PARK S H, LAMSAL B P, BALASUBRAMANIAM V M. Principles of food processing [M]//CLARK S, LAMSAI B, JUNG S. *Food processing: Principles and applications*. 2nd ed. New Jersey: Wiley Blackwell, 2014: 1 – 15.