

JIANGHUANG ZIYUAN
GAOZHILUA KAIFA YU LIYONG

姜黄



资源高值化开发与利用

李湘洲 周 军 旷春桃 著

非外借



化学工业出版社



JIANGHUANG ZIYUAN
GAOZHILUA KAIFA YU LIYONG

姜黄

资源高值化开发与利用

李湘洲 周 军 旷春桃 著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本专著立足于姜黄资源的高效利用,对姜黄植物学特性、姜黄主要化学物质及其生物活性研究进展、姜黄中主要活性物质的提取分离研究进展、姜黄素物理化学改性技术研究进展等进行了简要介绍。重点阐述了姜黄油的提取分离、结构鉴定及活性研究,姜黄素的定性定量分析,姜黄素类化合物的提取工艺研究,姜黄素的分离纯化工艺研究、稳定性及抗氧化活性研究、超微粉体的制备及其抗肿瘤活性研究,姜黄素与环糊精及其衍生物的包合作用研究,姜黄素衍生物的合成与生物活性研究,具有查尔酮结构的姜黄素类似物合成及生物活性研究,姜黄饲料添加剂的制备及应用效果研究等内容。本专著对其他同时富含多酚类与精油类物质的植物的利用和开发也可提供有价值的借鉴作用。

本专著可供植物资源化学、植物提取物等相关领域的研究人员、工程技术人员、产品研发人员等使用,同时可供化学、化工、生物、制药、林学等专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

姜黄资源高值化开发与利用/李湘洲,周军,旷春桃
著. —北京:化学工业出版社,2019.3

ISBN 978-7-122-33758-0

I. ①姜… II. ①李… ②周… ③旷… III. ①姜黄-
资源开发 ②姜黄-资源利用 IV. ①R282.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 011763 号

责任编辑:张艳 刘军

文字编辑:焦欣渝

责任校对:张雨彤

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:中煤(北京)印务有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张14 $\frac{3}{4}$ 字数291千字 2019年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:80.00 元

版权所有 违者必究

前言

Preface

姜黄是姜科姜黄属的多年生草本植物，在印度、中国、孟加拉国、泰国、柬埔寨、马来西亚、印度尼西亚等均有种植。姜黄被人类利用已有四千多年的历史，由于其具有抗衰老、抗癌、抗氧化等多种药用特性，因此，姜黄长期被作为药物或保健食品。现代医学研究证实，姜黄具有防癌、排毒、抗氧化以及预防疾病等多种生理活性，因此受到广大研究人员的关注。

在我国，姜黄作为一种药食兼用的中药材，最早见于公元 659 年苏敬等编纂的《新修本草》，其后，历代的医学著作均有记载。姜黄根，味辛、苦，性温，无毒，入心、肝、脾经，具有行气破瘀、通经止血、降压及助消化等特性。

姜黄素在近年来被美国科学家称为 21 世纪最有希望的抗肿瘤成分之一。姜黄油也具有抑菌等多种生理活性，对姜黄油的研究与报道在国外持续升温。本专著是对在一系列国家和省部级课题的持续支持下，由作者研究团队历经十余年获得的有关植物姜黄的最新研究成果的体现，主要内容包括：姜黄中姜黄油和姜黄素的检测及高效提取分离，姜黄素的化学修饰与物理改性，姜黄素的抑菌、抗氧化、抗肿瘤等生物活性，姜黄提取剩余物作为饲料的价值评定及其应用等。

作为姜黄加工方面的综合性专著，本书内容涵盖了植物学、生产加工、生物技术、药理学、药物制剂学等多门学科的理论和技术。期待我们的研究成果能促进中国的姜黄加工产业升级及其他富含多酚类与精油类物质的植物资源的加工利用起到一定的借鉴作用。

本书涉及的姜黄资源高值化开发与利用的研究得到了中南林业科技大学林业工程学科、国家“十一五”科技支撑、国家“十二五”科技支撑以及教育部博士点基金等的资助。

参与本书相关工作的人员还有李文生、张胜、张炎强、吴斌、杨军君、薛海鹏、郭远良、李瑞敏、张盛伟等，湖南省畜牧兽医研究所的戴求仲研究员对饲料的价值评定等给予了协助。在此，谨向关心和帮助本书出版及相关研究工作的各单位和参与研究的所有科研人员表示衷心的感谢！

著者

2018 年 10 月

1.1 姜黄的植物学特性	/ 001
1.2 姜黄中的主要化学物质及其生物活性研究进展	/ 001
1.2.1 姜黄油及其生物活性研究进展	/ 001
1.2.2 姜黄素及其生物活性研究进展	/ 003
1.3 姜黄中主要活性物质的提取分离研究进展	/ 006
1.3.1 姜黄油的提取分离研究进展	/ 006
1.3.2 姜黄素的提取分离研究进展	/ 006
1.3.3 姜黄素的纯化研究进展	/ 008
1.4 姜黄素物理改性技术研究进展	/ 009
1.4.1 包合物制备技术	/ 009
1.4.2 固体分散体制备技术	/ 010
1.4.3 微囊化技术	/ 010
1.4.4 脂质体制备技术	/ 010
1.4.5 乳剂化技术	/ 011
1.4.6 前体药物及药质体技术	/ 011
1.4.7 其他技术	/ 012
1.5 姜黄素化学改性技术研究进展	/ 012
1.5.1 1,7-位芳香环修饰衍生物	/ 012
1.5.2 桥链修饰衍生物	/ 013
1.5.3 具有查尔酮结构的姜黄素类似物	/ 013
1.5.4 姜黄素金属配合物	/ 014
1.6 姜黄剩余物资源化利用研究进展	/ 014
1.7 研究目的与意义	/ 014
参考文献	/ 015

第 1 章

绪论

001

第2章

姜黄油的提取分离、结构鉴定及活性研究

021

2.1 材料、仪器与方法 / 021

2.1.1 材料与仪器 / 021

2.1.2 方法 / 021

2.2 结果与分析 / 024

2.2.1 鲜姜黄和干姜黄中姜黄油的化学成分分析 / 024

2.2.2 姜黄渣中姜黄油的提取与成分分析 / 026

2.2.3 干姜黄中姜黄油的提取工艺优化 / 028

2.2.4 利用不同方法提取的干姜黄中姜黄油的化学成分分析 / 035

2.2.5 姜黄油的分离纯化与结构鉴定 / 037

2.2.6 姜黄油的抑菌活性分析 / 043

2.3 本章小结 / 044

参考文献 / 045

第3章

姜黄素的定性定量分析

046

3.1 材料、仪器与方法 / 046

3.1.1 材料与仪器 / 046

3.1.2 方法 / 046

3.2 结果与分析 / 048

3.2.1 检测波长的确定 / 048

3.2.2 色谱条件的确定 / 049

3.2.3 最低检测限和最低定量限的测定 / 049

3.2.4 姜黄素标准曲线 / 049

3.2.5 精密度试验 / 050

3.2.6 HPLC 分析方法的回收率分析 / 050

3.2.7 加样回收率试验 / 051

3.3 本章小结 / 052

参考文献 / 052

4.1 材料、仪器与方法 / 053

4.1.1 材料与仪器 / 053

4.1.2 方法 / 054

4.2 结果与分析 / 056

4.2.1 姜黄素、脱甲氧基姜黄素、双脱甲氧基姜黄素峰的标准曲线 / 056

4.2.2 姜黄素的匀浆提取 / 057

4.2.3 干姜黄中姜黄素的溶剂回流提取工艺优化 / 060

4.2.4 姜黄素的微波辅助提取工艺优化 / 062

4.2.5 干姜黄中姜黄素的超声-微波协同提取工艺优化 / 064

4.2.6 干姜黄中姜黄素的超声-微波协同提取工艺优化 / 071

4.2.7 不同提取方法对姜黄素的提取效果的比较 / 076

4.3 本章小结 / 076

参考文献 / 077

5.1 材料、仪器与方法 / 078

5.1.1 材料与仪器 / 078

5.1.2 方法 / 078

5.2 结果与分析 / 084

5.2.1 姜黄提取液中姜黄素的絮凝纯化工艺 / 084

5.2.2 H形和S形大孔树脂的筛选及对姜黄素的纯化工艺 / 086

5.2.3 YD318型和SYD01型大孔树脂的筛选 / 094

5.2.4 DM301型大孔树脂纯化姜黄素的工艺 / 096

5.2.5 制备液相色谱纯化姜黄素的工艺 / 098

5.3 本章小结 / 101

参考文献 / 102

第4章

姜黄素类化合物的提取工艺研究

053

第5章

姜黄素的分离纯化工艺研究

078

第6章

姜黄素的稳定性及抗氧化活性研究

103

第7章

姜黄素超微粉体的制备及其抗肿瘤活性研究

112

第8章

姜黄素与环糊精及其衍生物的包合作用研究

138

6.1 材料、仪器与方法 / 103

6.1.1 材料与仪器 / 103

6.1.2 方法 / 103

6.2 结果与分析 / 106

6.2.1 姜黄素的稳定性研究 / 106

6.2.2 姜黄素的抗氧化活性研究 / 109

6.3 本章小结 / 111

参考文献 / 111

7.1 材料、仪器与方法 / 112

7.1.1 材料与仪器 / 112

7.1.2 方法 / 113

7.2 结果与分析 / 120

7.2.1 高压均质法制备姜黄素超微粉体的工艺研究 / 120

7.2.2 超临界 CO₂反溶剂法制备姜黄素超微粉体的工艺研究 / 127

7.2.3 姜黄素超微粉体的体外抗肿瘤活性研究 / 133

7.3 本章小结 / 135

参考文献 / 136

8.1 材料、仪器与方法 / 138

8.1.1 材料与仪器 / 138

8.1.2 方法 / 138

8.2 结果与分析 / 140

8.2.1 姜黄素与 β -CD 衍生物体系的紫外吸收光谱 / 140

8.2.2 姜黄素与 β -CD 衍生物的包合比 / 142

8.2.3 温度对姜黄素与 β -CD 衍生物包合作用形成常数的影响 / 142

8.2.4 姜黄素与 β -CD 衍生物包合过程的热力学参数 / 145

8.2.5 pH 值对姜黄素- β -CD 包合物形成常数的影响 / 148

8.2.6	包合物的红外光谱 / 148
8.2.7	包合物的热重分析 / 152
8.2.8	姜黄素- β -CD 包合物的制备工艺优化 / 153
8.2.9	姜黄素- β -CD 包合物的水溶性 / 153
8.2.10	姜黄素- β -CD 包合物的热稳定性 / 153
8.2.11	姜黄素- β -CD 包合物的光稳定性 / 154
8.2.12	姜黄素- β -CD 包合物的耐氧化性 / 154
8.3	本章小结 / 155
	参考文献 / 155

9.1	材料、仪器与方法 / 157
9.1.1	材料与仪器 / 157
9.1.2	方法 / 157
9.2	结果与分析 / 160
9.2.1	富马酸单酯的合成工艺 / 160
9.2.2	富马酸单酯单酰氯的合成工艺 / 162
9.2.3	姜黄素衍生物的合成工艺 / 162
9.2.4	姜黄素衍生物的结构表征 / 163
9.2.5	姜黄素衍生物的抗氧化活性及构效关系 / 166
9.2.6	姜黄素衍生物的抗菌活性及构效关系 / 166
9.3	本章小结 / 168
	参考文献 / 169

10.1	材料、仪器与方法 / 172
10.1.1	材料与仪器 / 172
10.1.2	方法 / 173
10.2	结果与分析 / 177
10.2.1	具有查尔酮结构的姜黄素类似物的合成条件 / 177
10.2.2	具有查尔酮结构的姜黄素类似物的结构表征 / 178
10.2.3	具有查尔酮结构的姜黄素类似物的抗菌活性及构效关系 / 184

第 9 章

姜黄素衍生物的合成与生物活性研究

156

第 10 章

具有查尔酮结构的姜黄素类似物合成及生物活性研究

170

第 11 章

姜黄饲料添加剂的制备 及应用效果研究

188

10.2.4 具有查尔酮结构的姜黄素类似物的抗氧化活性 / 186

10.3 本章小结 / 186

参考文献 / 186

11.1 材料、仪器与方法 / 188

11.1.1 材料与仪器 / 188

11.1.2 方法 / 188

11.2 结果与分析 / 193

11.2.1 姜黄渣、人参渣和茶叶渣的营养成分 / 193

11.2.2 姜黄饲料添加剂对黄羽肉鸡养分利用率的影响 / 194

11.2.3 姜黄饲料添加剂对黄羽肉鸡血清生化指标的影响 / 197

11.2.4 姜黄饲料添加剂对黄羽肉鸡生长性能的影响 / 199

11.2.5 姜黄饲料添加剂对黄羽肉鸡免疫器官指数的影响 / 201

11.2.6 姜黄饲料添加剂对黄羽肉鸡屠宰性能的影响 / 201

11.2.7 姜黄饲料添加剂对黄羽肉鸡肉品质和肌肉中养分含量的影响 / 202

11.3 讨论 / 205

11.3.1 姜黄饲料添加剂对黄羽肉鸡养分利用率的影响分析 / 205

11.3.2 姜黄饲料添加剂对黄羽肉鸡血清生化指标的影响分析 / 205

11.3.3 姜黄饲料添加剂对黄羽肉鸡生长性能的影响分析 / 207

11.3.4 姜黄饲料添加剂对黄羽肉鸡免疫指标器官指数的影响分析 / 207

11.3.5 姜黄饲料添加剂对黄羽肉鸡屠宰性能的影响分析 / 208

11.3.6 姜黄饲料添加剂对肉品质和肌肉中养
分含量的影响分析 / 208

11.4 本章小结 / 208

参考文献 / 209

附录
化合物 1~16 的核磁共
振谱图

211

1.1 姜黄的植物学特性

姜黄 (*Curcuma longa* Linn.) 为姜科姜黄属的多年生草本植物，不耐寒，喜冬季温暖、夏季湿润环境，抗旱能力差，生长初期宜半阴，生长旺盛期需要充足的阳光，土壤宜肥沃，保湿力强。姜黄植株高可达 1m，其根茎具有多数圆状或指状分枝特征，形似姜，红黄色，断面鲜黄色。冬季或早春时节挖取根茎，洗净煮或蒸至透心后晒干。

姜黄在亚洲地区分布广泛，在印度、中国、孟加拉国、泰国、柬埔寨、马来西亚、印度尼西亚等均有种植。在我国，姜黄主要分布于南方的四川、广东、广西、福建、湖南及台湾等地^[1]。

姜黄是一种药食兼用的药材^[2]，在我国，以姜黄的根茎入药已有 1300 余年的历史，最早见于公元 659 年苏敬等编纂的《新修本草》，而后《本草图经》《植物名实图考》等古代医学著作中均有记载。姜黄在印度等国家也常被用作植物药，素有“固体黄金”之美誉。姜黄根，味辛、苦，性温，无毒，入心、肝、脾经，具有行气破瘀、通经止血、降压、抗菌杀虫及助消化等特性^[3]。

1.2 姜黄中的主要化学物质及其生物活性研究进展

姜黄根茎中的化学成分主要包括姜黄油和姜黄素类化学物质，此外还含有树脂类、多糖类、甾醇类、脂肪酸、蛋白类、生物碱以及一些微量元素等物质。主要活性成分姜黄素和姜黄油具有抗氧化、抗癌、抗感染和抗病毒等多种生物活性，广泛应用于食品、化妆品、医药等领域。

1.2.1 姜黄油及其生物活性研究进展

姜黄油是利用水蒸气蒸馏或有机溶剂萃取等提取技术从姜黄的根茎中萃取得到的一种挥发性物质。姜黄油为橙黄色且具有辛辣芳香气味的液体。20~25℃时，姜黄油的相对密度为 0.9211~0.9430，折射率为 1.4650~1.5130^[4]。由于品种、产

地、气候及生长环境的差异,导致姜黄油的含量和成分有较大差别,姜黄中姜黄油的含量一般为4.8%~7.2%,其主要成分包括姜黄酮、去氢姜黄酮、姜黄烯、水芹烯、姜烯、樟脑、柠檬烯、莪术醇、莪术酮、莪术二酮、莪术烯醇及桉油精等,特征成分为姜黄烯、姜黄酮和去氢姜黄酮。姜黄油主要成分为单萜类及倍半萜类化合物及其衍生物,其中倍半萜类化合物的含量高于单萜类化合物的含量^[5~7]。

研究表明,姜黄油具有抗癌、抑菌、降低人体皮肤粗糙度、驱虫、治疗心血管疾病等多种生物活性^[8],现已应用于食品、医药、化工等行业中。

1.2.1.1 姜黄油的抑菌作用

姜黄油对细菌、寄生虫、致病真菌等均具有一定的抑制作用^[9~11]。Apisariyakul等^[12]的研究表明,姜黄油可有效地抑制动物皮肤真菌和致病真菌的生长。Singh等^[13]的研究表明,姜黄油可以抑制念珠菌、刺孢盘等菌丝体的生长。

1.2.1.2 姜黄油的消炎作用

姜黄油具有较好的消炎活性,对早期和晚期的炎症均具有抑制作用。Chandra等^[14]的研究表明,口服姜黄油用量为 $0.1\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 时能抑制急性肿胀,并认为其抑制机理可能对肾上腺-垂体轴(adreno-hypophyseal)有兴奋作用。

1.2.1.3 姜黄油的抗肿瘤作用

姜黄油对肿瘤有明显抑制作用,且能增强免疫功能。研究表明,姜黄油能抑制人急性早幼粒白血病细胞株HL-60和肝胚细胞癌细胞株HepG2的增殖,并能促进BALB/C小鼠脾细胞的增殖^[15]。

1.2.1.4 姜黄油的驱虫作用

Tawatsin等^[16]的研究表明,姜黄油对三种蚊媒——*A. aegypti*、*Anopheles dirus*和*Culex quinquefasciatus*均具有一定的驱除效果,与5%的香草醛联用,驱蚊时间可达到8h。此外,姜黄油还可以驱除其他害虫,Tripathi等^[17]的研究表明,姜黄油对谷蠹、玉米象(*Sitophilus zeamais*)和赤拟谷盗等仓储害虫的毒性、产卵驱避和种群均具有抑制活性。

1.2.1.5 姜黄油的抗突变作用

赵泽贞等^[18]的研究表明,姜黄油具有抗突变效应。姜黄油既能保护细胞免受损伤,又能促使已突变细胞的DNA修复;既有细胞外直接灭活致突变的抗突变作用,又有细胞内的抗突变效应。

1.2.1.6 姜黄油对呼吸系统的作用

姜黄油可明显增加小鼠呼吸道酚红分泌和大鼠痰的排出量,表明其能促进呼吸道腺体分泌,发挥祛痰作用。对浓氨水诱发的大鼠咳嗽以及枸橼酸诱发的豚鼠咳嗽,姜黄油的加入能明显延长引咳潜伏期和减少咳嗽次数,达到镇咳效果。对组胺诱发的豚鼠哮喘,预先使用姜黄油,可明显延长哮喘潜伏期,具有一定的预防

作用^[19]。

1.2.1.7 姜黄油的抗氧化活性

姜黄油是一种安全无毒的天然抗氧化剂^[20]。其抗氧化作用一般通过清除自由基或增强抗氧化生物酶的活性来实现。Mara 等^[21]研究了不同方法提取得到的姜黄提取物抑制脂质过氧化的能力,结果表明,单独使用姜黄油也表现出良好的抗氧化活性。Jeng-Leun 等^[22]采用三种不同方法研究了姜黄油的抗氧化性能,结果表明,姜黄油具有清除 DPPH· 自由基的能力。江琰等^[23]的研究表明,姜黄油对黄豆油、芝麻油、油菜籽油、花生油等食用植物油脂均具有较强的氧化抑制作用。Priyanka 等^[24]的研究表明,姜黄油除可以直接对过氧化亚硝酸盐等进行清除、抑制脂质过氧化反应和 DNA 氧化损伤外,还可以增加超氧歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶和过氧化氢酶的活性。

1.2.2 姜黄素及其生物活性研究进展

姜黄色素是一类黄色的二苯基庚炔物质的统称,主要包括姜黄素 ($C_{21}H_{20}O_6$)、脱甲氧基姜黄素 ($C_{20}H_{18}O_5$)、双脱甲氧基姜黄素 ($C_{19}H_{16}O_4$)、四氢姜黄素、脱甲氧基四氢姜黄素和双脱甲氧基四氢姜黄素(见图 1-1)。本节主要讲姜黄素。姜黄不同部位中姜黄素含量差异较大,其中姜黄的根茎中姜黄素含量最高,而根须中一般较低。目前,姜黄素是世界上销量最大的天然色素之一,其安全无毒,且具有多种生物活性,其在食品、药品等领域得到了广泛应用。



图 1-1 姜黄色素的结构

1.2.2.1 姜黄素的抗肿瘤活性

美国癌症研究中心 (NCI) 将姜黄素列为第三代化学预防药。姜黄素对直肠癌、结肠癌、乳腺癌、肝癌、前列腺癌、胃癌及皮肤癌等多种肿瘤细胞的产生、增殖和转移均具有抑制作用。研究表明,姜黄素的抗癌机制包括调控癌基因和抑制癌基因、抗 NO 的作用、抑制环氧合酶-2 (COX-2) 的活性以及诱导细胞周期停止和细胞凋亡等^[25]。

Kuttan 等^[26]的研究表明,姜黄提取物和姜黄素对 CHO 细胞的生长具有明显的抑制作用。Kawamori 等^[27]对雄性 F344 小鼠在致癌物质处理前、处理期间以及

处理后以姜黄素进行给药,结果表明,掺入 0:2% 的姜黄素能有效抑制小鼠结肠癌的发生。

1.2.2.2 姜黄素的抗炎症活性

姜黄素对急性、亚急性、慢性炎症均有抑制作用,因而姜黄素可用于治疗肝炎、肺炎、胰腺炎等多种炎症。姜黄素通过减少中性粒细胞的浸润、抑制脂质过氧化反应、降低丝氨酸活性来抑制结肠细胞的炎症反应。Rao 等^[28]的研究表明,姜黄素具有较强的抗炎作用,其疗效与非甾体抗炎药接近。

1.2.2.3 姜黄素的抗氧化活性

氧自由基与人体许多疾病的病理生理过程有密切关系,活性氧自由基过量时易导致癌症、心血管疾病、阿尔茨海默病等疾病的发生^[29],同时自由基也与食品加工与储存过程中的腐败变质有关。因此,对植物抗氧化成分的筛选是近年来研究的热点问题。

Masuda 等^[30]的研究表明,姜黄素捕获自由基后经过氧化反应生成香兰醛、阿魏酸和姜黄素二聚体等。姜黄素二聚体具有稳定的二氢呋喃结构,在姜黄素的抗氧化过程中具有重要作用。姜黄素能提高生物体内血液及组织中抗氧化酶的活性,包括铜/锌超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽还原酶、谷胱甘肽过氧化物酶、葡萄糖-6-磷酸酶等,从而有效地清除各种自由基,减少过氧化物酶体、硫代巴比妥酸盐(TBARS)等的产生,减少氧化应激反应^[31]。

1.2.2.4 姜黄素的杀虫活性

Su 等^[32]研究了姜黄的石油醚提取物对赤拟谷盗(*Tribolium castaneum* H.)的驱避活性,采用 $680\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 姜黄石油醚提取物对赤拟谷盗进行处理,驱避率高达 92.6%;处理 4 天后,依然表现出较强的驱避活性,驱避率仍达到 67.5%。化学成分研究表明姜黄石油醚提取物主要成分为姜黄素芳香酮、姜黄酮和姜黄素等化合物。

Jilani 等^[33]研究了姜黄对储粮害虫的驱避、拒食和生长方面的抑制活性。结果表明:姜黄粉对谷仓象鼻虫(*Sitophilus granaries* L.)和谷蠹(*Rhyzopertha dominica* E.)的抑制活性最高;姜黄的石油醚提取物对赤拟谷盗的活性比丙酮提取物和乙醇提取物均要高。

丁伟^[34]的研究表明:姜黄乙醚提取物对黏虫(*Mythimna separata* W.)的胃毒作用最好,48h 的死亡率为 65%;而其乙醇提取物在 $2\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的浓度下对嗜卷书虱(*Liposcelis bostrychophila* B.)具有明显的熏蒸活性,24h 的死亡率达到 95%。

张永强等^[35]研究了姜黄不同溶剂提取物对朱砂叶螨的抑制活性,结果表明,姜黄正己烷提取物、苯提取物、无水乙醚提取物、甲醇提取物和水提取物对朱砂叶螨均具有良好的抑制活性。

1.2.2.5 姜黄素的抗菌活性

研究表明：姜黄氯仿提取物对西红柿晚枯萎病菌（TLB）有抑制活性，其抑制率达到 80%；姜黄正己烷提取物对 TLB 和大麦粉霉病菌（BPM）均表现出较高的抑制活性，抑制率均能达到 100%，同时，其对稻鞘枯瘟病菌（RSB）和黄瓜灰霉病菌（CGM）也具有一定的抑制作用，其抑制率分别为 80% 和 50%；而姜黄乙酸乙酯提取物和水提取物对稻瘟病菌（RCB）、RSB、CGM、TLB、小麦叶锈病菌（WLR）和 BPM 的抑制作用不明显^[36]。

杨帮^[37]采用生长速率法研究了姜黄提取物对玉米小斑病菌（*Helminthosporium*）、棉花枯萎病菌（*Fusarium oxysporum*）、柑橘绿霉病菌（*Penicillium digitatum*）和小麦纹枯病菌（*Rhizoctonia cerealis*）等病原真菌的抑制活性。结果表明，姜黄提取物对玉米小斑病菌和小麦纹枯病菌有较好的抑制作用，其中姜黄乙醚提取物对玉米小斑病菌的抑制效果最好，其 EC_{50} 为 $0.4688\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ；姜黄石油醚提取物对小麦纹枯病菌的抑制效果最好，其 EC_{50} 为 $0.0340\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

1.2.2.6 姜黄素的降血脂作用

Asai 等^[38]的研究表明，姜黄素能降低小鼠高脂血症的血脂，同时可使肝酰基辅酶 A 还原酶的活性明显增高，降脂作用机制可能是姜黄素改变了脂肪酸的代谢过程。

Suresh Babu 等^[39]的研究表明，姜黄素能有效改善糖尿病大鼠的代谢状况，其降脂作用可能与胆固醇分解代谢增强有关。

1.2.2.7 姜黄素的护肝作用

姜黄素对四氯化碳、黄曲霉毒素 B₁、对乙酰氨基酚、铁和环磷酰胺等诱导的肝损伤具有一定的保护作用。姜黄素可显著降低酒精和多不饱和脂肪酸喂饲动物的血中碱性磷酸酶、 γ -谷氨酰转移酶及组织中胆固醇、甘油三酯（TG）和游离脂肪酸的含量，使肝和肾组织中的磷脂显著降低，表明姜黄素具有预防实验性脂肪肝的作用^[40]。

姜黄素能显著降低 Fe^{2+} 诱发肝损伤大鼠的肝脂质过氧化物水平，还能有效抑制 P450 和谷胱甘肽转移酶的活性^[41]。刘永刚等^[42]以 CCl_4 复制肝纤维化大鼠模型，结果表明，姜黄素可显著降低肝纤维化大鼠血清中 ALT、AST 的含量，减轻肝细胞脂肪变性及炎性细胞浸润；还能显著降低血清中 HA、LN、NO 的含量及肝组织中 Hyp、MDA 的含量，抑制肝脏胶原纤维的增生。阿米洛利和姜黄素对二甲基亚硝胺诱导的大鼠肝纤维化和三乙酸亚硝酸铁诱导的大鼠肝纤维化均有抑制作用，且二者有一定的协同作用^[43,44]。

除此之外，姜黄素还具有保护神经、心血管、肾脏，治疗眼科疾病，抗胆结石等多种生理活性。

1.3 姜黄中主要活性物质的提取分离研究进展

1.3.1 姜黄油的提取分离研究进展

姜黄油是一类挥发性较强的萜类混合物。目前姜黄油的提取方法主要包括传统的水蒸气蒸馏法和溶剂萃取法。姜黄油主要作为姜黄色素生产过程中的副产物。但随着对姜黄油研究的深入,姜黄油的抗氧化、抗菌、抗肿瘤等多种生物活性的发现使其逐渐引起人们的重视。近年来,姜黄油的提取分离技术也得到快速发展,一些新型提取分离技术被应用于姜黄油的提取,例如微波辅助水蒸气蒸馏、超临界萃取技术等。其中超临界萃取技术具有提取温度低、热敏性物质损失小、提取时间短、分离容易、无溶剂残留、萃取效率高等优点^[45]。

葛发欢等^[46]的研究发现超临界二氧化碳萃取姜黄油的成分与水蒸气蒸馏法所得姜黄油的化学成分一致,只是含量存在一定的差异,此法在工业化生产方面具有一定的可行性。

李湘洲等^[47]发明了静动态结合的萃取方法,使超临界二氧化碳萃取姜黄油的技术得到进一步发展。

刘树兴等^[48]对超临界流体萃取过程中的各影响因素的影响机理进行了深入探讨,并对其传质过程进行了研究,建立了传质数学模型。

虽然新型分离技术得到了快速发展,也展现出诸多的技术优势,但是传统的水蒸气蒸馏法、溶剂萃取法等提取方法具有工艺成熟、操作简单、对设备人员要求低等优势,在精油的提取方面依然占据主要地位。

1.3.2 姜黄素的提取分离研究进展

姜黄素的提取方法主要包括传统的碱水提取法、有机溶剂提取法等。近年来,新型的提取技术不断涌现,主要包括酶辅助提取法、微波辅助提取法、超声波辅助提取法、超临界流体萃取法等,这些提取技术在姜黄素的提取过程中表现出不同的特点。

1.3.2.1 碱水提取法

冉启良等^[49]用碱水煮沸提取姜黄中的姜黄素,其得率可达5%~6%,与有机溶剂提取法相比,其提取效率较低。熊国华等^[50]直接用中性水加热提取姜黄中的姜黄素,虽然姜黄素微溶于水,但在提取过程中,姜黄素与淀粉结合紧密,可随大量可溶性淀粉提取出来。

1.3.2.2 有机溶剂提取法

有机溶剂提取法是最常用的提取姜黄素的方法之一,其优点是姜黄素提取得率
此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com