姜黄中两个新颖的降碳没药烷型倍半萜

李光涵[1,3], 吴光栩[1,3], 邱春梅[1,3], 苏海国[1,3], 冯 芮[1,3*], 熊 亮[1,2,3*]

(1. 成都中医药大学药学院, 中药材标准化教育部重点实验室, 四川 成都 611137; 2. 成都中医药大学医学技术学院, 四川 成都 611137; 3. 成都中医药大学, 西南特色药材创新药物成分研究所, 四川 成都 611137)

摘要: 采用硅胶柱色谱、C_{18}柱色谱以及半制备高效液相色谱等分离技术, 对姜黄的95%乙醇提取物进行了分离纯化。运用高分辨质谱、红外光谱、核磁共振等波谱技术对化合物进行了结构鉴定, 通过计算ECD和计算NMR确定了新化合物的绝对构型。最终, 从姜黄中分离鉴定了3个没药烷型倍半萜, 其中化合物**1**和**2**为两个新颖的降碳没药烷型倍半萜, 分别为 (1*R*,7*S*)-15-norbisabolane-2-ene-11-ol-4,9-dione (**1**) 和 (7*S*)-15-norbisabolane-1,3,5,10-tetraene-4-ol (**2**), 化合物**3**为已知化合物8-hydroxyl-ar-turmerone。

关键词: 姜黄; 分离鉴定; 新化合物; 绝对构型; 降碳没药烷型倍半萜

中图分类号: R284 **文献标识码**: A **文章编号**: 0513-4870(2026)05-1764-05

Two novel norbisabolane-type sesquiterpenoids from *Curcuma longa*

LI Guang-han[1,3], WU Guang-xu[1,3], QIU Chun-mei[1,3], SU Hai-guo[1,3], FENG Rui[1,3*], XIONG Liang[1,2,3*]

(*1. Key Laboratory of Standardization of Chinese Medicine (Ministry of Education), School of Pharmacy, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China; 2. School of Medical Technology, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China; 3. Institute of Innovative Medicine Ingredients of Southwest Specialty Medicinal Materials, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China*)

Abstract: The 95% ethanol extract of *Curcuma longa* was subjected to isolation and purification using silica gel column chromatography, C_{18} column chromatography, and semi-preparative HPLC. The planar structures of the isolated compounds were elucidated by HR-MS, IR, and NMR spectroscopy. The absolute configurations of the new compounds were determined by calculated electronic circular dichroism (ECD) and DP4+ NMR analysis. Finally, three bisabolane-type sesquiterpenoids were isolated and identified from *C. longa* as (1*R*,7*S*)-15-norbisabolane-2-ene-11-ol-4, 9-dione (**1**), (7*S*) -15-norbisabolane-1, 3, 5, 10-tetraene-4-ol (**2**), and 8-hydroxyl-ar-turmerone (**3**). Compounds **1** and **2** were two novel 15-norbisabolane-type sesquiterpenoids.

Key words: *Curcuma longa*; isolation and identification; new compound; absolute configuration; norbisabolane-type sesquiterpenoid

姜黄 (*Curcuma longa* L.) 为姜科植物姜黄的干燥根茎, 是我国著名的川产道地药材, 其药用历史可追溯至唐代《新修本草》。传统中医理论认为, 姜黄性温, 味苦、辛, 归肝、脾经, 具有破血行气、通经止痛之功效[1]。以姜黄为主药的成方制剂 (如降脂通络软胶囊、消痛贴膏), 常用于治疗血瘀气滞导致的高脂血症、类风湿疼痛等病症[2]。

随着现代药理研究的深入, 姜黄的药用价值不断得到科学阐释。研究表明, 姜黄具有抗炎[3]、抗癌[4]、抗氧化[5]、脂质调节[6]等多种生物活性, 为其传统功效提

收稿日期: 2025-12-04; 修回日期: 2026-01-30.

基金项目: 国家自然科学基金优秀青年基金项目 (82022072); 西藏重点研发项目 (XZ202501ZY0052); 四川省自然科学基金 (2024NSFSC1830); 四川省科技教育联合基金重点项目 (2025NSFSC2033); 成都中医药大学杏林学者学科人才科研提升计划 (MPRC2023029).

*通讯作者 Tel: 86-28-61800231,

E-mail: fengrui4613@163.com; xiling@cdutcm.edu.cn

DOI: 10.16438/j.0513-4870.2025-1457

供了有力的药理学依据。这些活性的多样性与其化学成分密切相关, 其中姜黄素类和萜类成分被认为是两类主要的活性物质[7]。目前, 姜黄素类成分的研究已较为系统, 相关药理研究与制剂开发取得广泛进展。相较而言, 姜黄中萜类成分的研究仍较薄弱[8], 这在一定程度上限制了对其药用价值的全面认识。

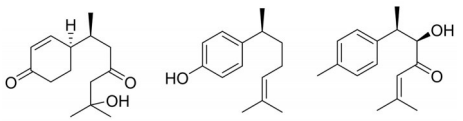
姜黄中萜类成分以倍半萜类为主, 目前已从中分离得到的20余种该类成分, 主要包括吉马烷型、愈创木烷型、长松针烷型、桉烷型、没药烷型、萜烷型、榄香烷型、苍耳烷型等结构类型, 其中没药烷型倍半萜数量最多[9]。没药烷型倍半萜作为一类重要的单环倍半萜, 在自然界中分布广泛, 具有抗病毒、抗炎、抗动脉粥样硬化、舒张血管等多种活性[9-12], 显示出良好的药用潜力。本课题组在前期的研究中, 已从姜黄中分离鉴定出10余个新的倍半萜化合物[1,6,8,9,12-15]。

作为前期工作的延续, 本研究对姜黄的化学成分开展了进一步的系统分离与鉴定, 成功获得3个没药烷型倍半萜 (结构见图1)。其中, 化合物**1**和**2**为两个结构新颖的降碳没药烷型倍半萜, 该发现不仅进一步丰富了姜黄中萜类化学成分的多样性, 也为后续深入研究该类成分的生物活性与作用机制奠定了重要的物质基础。

结果与讨论

1 结构鉴定

化合物**1**为无色油状物, $[\alpha]_D^{20}$ −29.9 (*c* 0.13, MeOH)。根据其准分子离子峰 (+)-HR-ESI-MS *m*/*z* 261.146 4 $[M+Na]^+$ (计算值261.146 1, $C_{14}H_{22}O_3Na$), 推断化合物的分子式为$C_{14}H_{22}O_3$, 不饱和度为4。红外光谱显示其可能含有羟基 (3 306 cm^{-1}) 和*α*,*β*不饱和酮 (1 688 cm^{-1})。



1 **2** **3**

Figure 1 The chemical structures of compounds **1**−**3**

由表1可见, ^{1}H NMR显示有3个甲基信号 [δ_H 0.91 (3H, d, *J* = 6.6 Hz), 1.21 (6H, s)]、1个羟基质子信号 [δ_H 3.91 (1H, brs)] 和2个烯烃质子信号 [δ_H 5.91 (1H, dd, *J* = 10.8, 2.4 Hz), 6.93 (1H, dt, *J* = 10.8, 2.4 Hz)]。^{13}C NMR、DEPT显示有14个碳信号, 其中包括3个甲基 (δ_C 16.7, 29.9, 29.9)、4个亚甲基 (δ_C 25.2, 38.0, 49.2, 55.3)、4个次甲基 [其中包含2个烯烃碳 (δ_C 130.3, 154.9)、2个叔碳 (δ_C 32.6, 41.5)] 和3个季碳 [其中包含2个羰基碳 (δ_C 199.1, 211.2) 和1个连氧季碳 (δ_C 70.0)]。以上数据提示化合物**1**可能为一个C-15位降碳的没药烷型倍半萜。与文献对比发现, 化合物**1**的核磁数据与已知化合物turmerone Q的数据类似[16], 区别在于化合物**1**中C-4的化学位移 (δ_C 199.1) 且C-5对应δ_C 38.0 [δ_H 2.36 (2H, m)], 而在turmerone Q中, C-4并非羰基碳, 且C-5为连氧碳。初步推断化合物**1**的C-4被氧化为羰基, 从而与C-2/C-3构成 *α*,*β*-不饱和酮体系, 且C-5上无羟基取代。

为了进一步确定化合物**1**的结构, 进行了2D NMR实验。^{1}H-^{1}H COSY和HMBC谱中的关键相关信号如图2所示, 在HMBC谱中, 观察到H_2-6与C-4 (δ_C 199.1) 以及H-2与C-4的远程相关, 这直接证实了C-4为羰基碳并处于*α*,*β*-不饱和系统中。同时, ^{1}H-^{1}H COSY谱中H_2-5和H_2-6相关、结合C-5的化学位移, 确证C-5为未连氧的亚甲基。基于以上证据, 化合物**1**的平面结构得以确定。

Table 1 ^{1}H (600 MHz) and ^{13}C NMR (150 MHz) data of **1**−**3** in acetone-d_6

No.	**1**		**2**		**3**	
	δ_H	δ_C	δ_H	δ_C	δ_H	δ_C
1	2.53 (1H, m)	41.5		139.0		139.4
2	6.93 (1H, dt, *J*= 10.8, 2.4 Hz)	154.9	7.02 (1H, m)	128.6	7.06 (1H, d, *J* = 8.4 Hz)	129.1
3	5.91 (1H, dd, *J*=10.8, 2.4 Hz)	130.3	6.75 (1H, m)	115.9	7.01 (1H, d, *J* = 8.4 Hz)	129.2
4		199.1		156.3		136.4
5	2.36 (2H, m)	38.0	6.75 (1H, m)	115.9	7.01 (1H, d, *J* = 8.4 Hz)	129.2
6	1.72 (1H, m);	25.2	7.02 (1H, m)	128.6	7.06 (1H, d, *J* = 8.4 Hz)	129.1
	1.98 (1H, m)					
7	2.31 (1H, m)	32.6	2.61 (1H, m)	39.4	3.28 (1H, m)	43.2
8	2.47 (1H, m);	49.2	1.55 (2H, m)	39.4	4.25 (1H, dd, *J* = 5.4, 4.2 Hz)	81.4
	2.68 (1H, m)					
9		211.2	1.85 (2H, m)	26.9		200.9
10	2.61 (2H, s)	55.3	5.10 (1H, m)	125.4	6.34 (1H, s)	121.4
11		70.0		131.6		157.9
12	1.21 (3H, s)	29.9	1.64 (3H, s)	25.8	1.93 (3H, s)	27.7
13	1.21 (3H, s)	29.9	1.49 (3H, s)	17.7	2.00 (3H, s)	21.0
14	0.91 (3H, d, *J* = 6.6 Hz)	16.7	1.17 (3H, d, *J* = 8.4 Hz)	23.1	1.35 (3H, d, *J* = 7.2 Hz)	19.0
15					2.24 (3H, s)	21.0
OH	3.91 br s		8.08 br s			

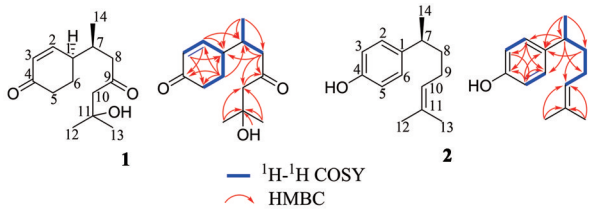


Figure 2 Structure and key HMBC and ^{1}H-^{1}H COSY correlations of compounds **1** and **2**

进一步确定化合物**1**的绝对构型, 对于类似的没药烷结构, 文献[12]证据表明, C-1处是*S*构型 (1*S*,7*R*; 1*S*,7*S*) 时旋光值为正, 而是*R*构型 (1*R*,7*R*; 1*R*,7*S*) 为负值。因此, 根据化合物**1**的旋光值为−29.9 (*c* 0.13, MeOH), 将C-1的绝对构型确定为*R*。通过计算核磁进一步确定C-7的绝对构型, 由于化合物**1**的实验与计算的^{13}C NMR化学位移回归分析相关系数非常接近, 因此在mPW1PW91/6-311+G(d,p)水平上计算了 (1*R*,7*S*) 和 (1*R*,7*R*) 的理论NMR数据。基于^{1}H和^{13}C NMR数据的DP4+概率分析 (图3) 显示 (1*R*,7*S*) 明显优于 (1*R*,7*R*)。因此, 化合物**1**的绝对构型确定为 (1*R*,7*S*)-**1**, 并命名为 (1*R*,7*S*)-15-norbisabolane-2-ene-11-ol-4,9-dione。

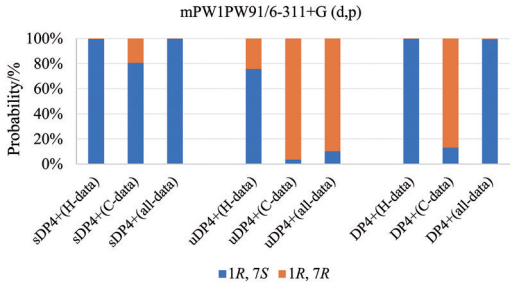


Figure 3 DP4+ probabilities (%) details for (1*R*,7*S*)-**1** and (1*R*,7*R*)-**1**

化合物**2**为无色油状物, $[\alpha]_D^{20}$ +42.0 (*c* 0.10, MeOH)。(+)-HR-ESI-MS给出准分子离子峰*m*/*z* 227.141 4 [M+Na]$^+$ (计算值227.140 6, $C_{14}H_{20}ONa$), 推断化合物的分子式为$C_{14}H_{20}O$, 不饱和度为5。红外光谱提示其可能含有羟基 (3 321 cm^{-1})、苯环或双键 (1 515, 1 459 cm^{-1})。由表1可见, ^{1}H NMR谱信号显示20个质子吸收峰, 其中包括1个双峰甲基 [δ_H 1.17 (3H, d, *J* = 8.4 Hz)]、2个单峰甲基 [δ_H 1.49 (3H, s), 1.64 (3H, s)]、1个烯质子信号 [δ_H 5.10 (1H, m)]、2组苯环氢信号 [δ_H 6.75 (2H, m), 7.02 (2H, m)] 和1个羟基质子信号 [δ_H 8.08 (1H, brs)]。^{13}C NMR、DEPT谱显示出14个碳信号, 其中包括3个甲基 (δ_C 17.7, 23.1, 25.8)、2个亚甲基 (δ_C 26.9, 39.4)、6个次甲基 [包含4个芳香碳 (δ_C 115.9, 115.9, 128.6, 128.6), 1个烯烃碳 (δ_C 125.4) 和1个叔碳 (δ_C 39.4)]、3个季碳 (δ_C 131.6, 139.0, 156.3)。化合物**2**的核磁数据与文献[17]报道的*α*-curcumene相似, 两者差别主要在化合物**2**的苯环上少了1个甲基信号, 再综合其质谱信息和羟基信号推测化合物**2**可能是*α*-curcumene苯环上一个甲基被羟基取代的衍生物, 即一个含对位羟基取代的降碳苯环倍半萜。^{1}H-^{1}H COSY和HMBC谱显示的主要相关信号如图2所示, HMBC谱中观察到H-2、H-3、H-5、H-6均与季碳C-4 (δ_C 156.3) 存在远程相关, 并且C-4向低场移动 (δ_C 156.3), 符合连氧季碳的特征。综合以上信息, 化合物**2**的平面结构得以确定。

基于所确定的平面结构, 化合物**2**仅存在有一个手性中心 (C-7), 其绝对构型仅有 (7*S*) 和 (7*R*) 两种可能性, 在本研究中, 通过计算ECD对化合物**2**的绝对构型进行了确证。使用IEFPCM模型, 以甲醇为溶剂, 在CAM-B3LYP/DGDZVP水平计算了 (7*S*)-**2**和 (7*R*)-**2**的理论ECD谱 (图4), 在200～400 nm的波长内, (7*S*)-**2**的计算ECD谱与实验ECD谱非常吻合。因此, 将化合物**2**的绝对构型确定为7*S*, 并命名为 (7*S*)-15-norbisabolane-1,3,5,10-tetraene-4-ol。

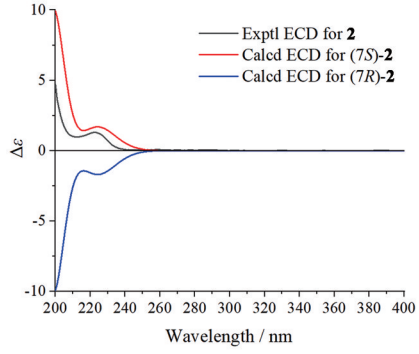


Figure 4 Experimental and calculate ECD spectra of compound **2**

化合物**3**为无色油状液体; (+)-HR-ESI-MS *m*/*z* 255.135 1 [M+Na]$^+$ (计算值255.135 6); ^{1}H NMR (acetone-d_6, 600 MHz) 和^{13}C NMR (acetone-d_6, 150 MHz) 数据见表1。其数据与文献[18]报道的8-hydroxyl-ar-turmerone几乎一致, 将化合物**3**鉴定为8-hydroxyl-ar-turmerone。

2 讨论

姜黄是亚洲地区广泛使用的药食同源植物, 其倍半萜类成分因结构多样、生物活性显著而备受关注[19-23]。在前期系统研究的基础上, 本研究综合运用多种分离与结构鉴定技术, 从姜黄中成功分离并鉴定了2个结构新颖的降碳没药烷型倍半萜 (**1**和**2**) 和1个已知没药烷型倍半萜 (**3**), 并通过计算ECD和计算NMR确定了新化合物的绝对构型。值得注意的是, 尽管姜黄中富含没药烷型倍半萜, 但仅在环上C-4位发

生甲基降碳的结构很少见, 除了课题组前期报道的一对在支链降碳没药烷型倍半萜对映异构体外, 天然产物仅见1例相关报道[20]。本研究发现的2个新化合物均具有该结构特征: 化合物**1**在C-4位发生甲基氧化, 形成*α*,*β*不饱和酮结构; 化合物**2**则在C-4位发生羟基取代, 形成苯环对位羟基取代的降碳没药烷结构。本研究不仅进一步丰富了姜黄倍半萜类化学成分库, 也为后续深入研究该类成分的生物活性与合成机制提供了重要的物质基础与理论参考。后续研究将围绕这两个新化合物的生物活性开展系统探究, 以进一步揭示其潜在药用价值。

实验部分

Bruker-600核磁共振波谱仪和Bruker TimsTOF质谱仪 (德国Bruker公司); Chirascan qCD圆二色谱仪 (英国应用光物理公司); 安东帕MCP 200旋光仪 (奥地利安东帕公司); Agilent 600 FT-IR红外光谱仪和Agilent 1220半制备型高效液相色谱仪 (美国Agilent公司); RE 2000A旋转蒸发仪 (上海贤德实验仪器有限公司); 半制备型C_{18}色谱柱 (250 mm × 10 mm, 5 μm, 月旭科技股份有限公司); 柱层析硅胶 (200～300目, 青岛海洋化工厂); 薄层硅胶板GF_{254} (安徽良臣硅源材料有限公司); BP221S电子天平 (德国Sartorius公司); 甲醇 (色谱级, 美国Sigma公司); 其他所用试剂均为分析纯 (成都市科隆化学品有限公司)。

姜黄购于四川新荷花中药饮片有限公司, 经成都中医药大学药用植物研究室高继海教授鉴定为姜黄*Curcuma longa* L.的干燥根茎, 标本 (CL-20160803) 保存于成都中医药大学西南特色药材创新药物成分研究所。

1 提取与分离

姜黄饮片 (50 kg) 用95%乙醇浸泡过夜后, 加热回流提取3次 (依次为3、2、1.5 h), 合并提取液, 50 ℃减压浓缩得浸膏7 kg。将浸膏混悬于水中, 依次用石油醚、乙酸乙酯和正丁醇萃取, 将乙酸乙酯萃取液于50 ℃减压浓缩, 得到乙酸乙酯部位 (3 kg)。乙酸乙酯部位首先经硅胶柱色谱 (150 cm × 22 cm) 分离, 以石油醚−乙酸乙酯−甲醇系统 (体积比1∶0∶0、7∶3∶0、4∶6∶0、0∶1∶0、0∶1∶1、0∶0∶1) 洗脱, 合并相似流分, 减压浓缩后得到6个洗脱部分 (A～F)。部位F (873 g) 进一步经硅胶柱色谱 (150 cm × 22 cm) 分离, 依次采用石油醚−乙酸乙酯系统 (100∶1～0∶1) 和二氯甲烷−甲醇系统 (100∶1～0∶1) 梯度洗脱, 通过TLC检视, 合并相似流分并浓缩, 共获得12个亚组分 (Fr.1～Fr.12)。Fr.2经硅胶柱色谱, 以石油醚−丙酮系统 (80∶1～1∶1) 梯度洗脱分为2个子流分 (Fr.2-1、Fr.2-2)。Fr.2-1通过Sephadex LH-20凝胶柱色谱 (石油醚−二氯甲烷−甲醇系统, 5∶5∶1) 纯化得到2个流分 (Fr.2-1-1、Fr.2-1-2)。Fr.2-1-1再次经硅胶柱色谱 (石油醚−丙酮系统100∶1～1∶1) 梯度洗脱, 细分为5个流分 (Fr.2-1-1-1～Fr.2-1-1-5)。Fr.2-1-1-3通过反相半制备液相色谱 (75%甲醇水溶液, 2 mL·min^{-1}) 进一步纯化得到化合物**3** (1.5 mg, t_R = 21.0 min)。Fr.3经硅胶柱色谱 (二氯甲烷−甲醇系统, 20∶1～1∶1) 梯度洗脱, 分为4个子流分 (Fr.3-1～Fr.3-4)。Fr.3-1经反相半制备液相色谱 (75%甲醇水溶液, 2 mL·min^{-1}) 纯化得到化合物**1** (2.0 mg, t_R = 20.5 min)。Fr.3-3通过反相C_{18}柱色谱 (甲醇−水系统, 20%～100%) 梯度洗脱, TLC检测合并后得到3个流分 (Fr.3-3-1～Fr.3-3-3)。Fr.3-3-2经反相半制备液相色谱 (80%甲醇水溶液, 2 mL·min^{-1}) 纯化获得化合物**2** (1.3 mg, t_R = 19.0 min)。

2 结构鉴定

化合物**1**: 无色油状液体; $[\alpha]_D^{20}$ −29.9 (*c* 0.13, MeOH); UV (MeOH) λ_{max} (log ε) 200 (3.85), 227 (3.92) nm; IR (KBr) ν_{max} 3 306, 2 962, 2 924, 1 688, 1 525, 1 461, 1 379, 1 159, 1 031, 669 cm^{-1}; HR-ESI-MS *m*/*z* 261.146 4 $[M+Na]^+$ (计算值为261.146 1, $C_{14}H_{22}O_3Na$); ^{1}H NMR (acetone-d_6, 600 MHz) 和^{13}C NMR (acetone-d_6, 150 MHz) 数据见表1。

化合物**2**: 无色油状液体; $[\alpha]_D^{20}$ +42.0 (*c* 0.10, MeOH); UV (MeOH) λ_{max} (log ε) 200 (4.36), 222 (3.81), 278 (3.14) nm; ECD (MeOH) λ_{max} ($\Delta\varepsilon$) 200 (+4.74), 223 (+1.31) nm; IR (KBr) ν_{max} 3 321, 2 927, 1 701, 1 515, 1 459, 1 378, 1 160, 1 058, 902, 671 cm^{-1}; HR-ESI-MS *m*/*z* 227.141 4 $[M+Na]^+$ (计算值为227.140 6, $C_{14}H_{20}ONa$); ^{1}H NMR (acetone-d_6, 600 MHz) 和^{13}C NMR (acetone-d_6, 150 MHz) 数据见表1。

作者贡献: 李光涵为本文第一作者, 负责成分分离、结构鉴定和论文撰写; 吴光栩负责化合物ECD和NMR计算; 邱春梅协助样品分离; 苏海国负责核对结构; 冯芮和熊亮负责实验指导和稿件修改。

利益冲突: 所有作者均声明无利益冲突。

References

[1] Chen F, Tian ZH, Wu GX, et al. A novel nitro-substituted bisabolane-type sesquiterpenoid from *Curcuma longa* [J]. Acta Pharm Sin (药学学报), 2025, 60: 1474-1478.

[2] Qin YW, Fei CH, Zhang W, et al. Efficacy-related substances of blood-activating and stasis-resolving medicinals derived from *Curcuma* plants: A review [J]. China J Chin Mater Med (中国中

药杂志), 2022, 47: 24-35.

[3] Razavi BM, Ghasemzadeh MR, Hosseinzadeh H. A review of therapeutic potentials of turmeric (*Curcuma longa*) and its active constituent, curcumin, on inflammatory disorders, pain, and their related patents [J]. Phytother Res, 2021, 35: 6489-6513.

[4] Aggarwal BB, Yuan W, Li S, et al. Curcumin-free turmeric exhibits anti-inflammatory and anticancer activities: Identification of novel components of turmeric [J]. Mol Nutr Food Res, 2013, 57: 1529-1542.

[5] Ma QY. Study on extraction process of polysaccharide from *Curcuma longa* L and its antioxidant activity [J]. Food Ind (食品工业), 2025, 46: 60-66.

[6] Liu J, Qiao MM, Peng C, et al. Curcumanes E and F, two rare sesquiterpenoids with a dicyclo[3.3.1]nonane moiety, from *Curcuma longa* and their vasorelaxant activities [J]. Front Chem, 2022, 10: 995950.

[7] Eun CS, Lim JS, Lee J, et al. The protective effect of fermented *Curcuma longa* L. on memory dysfunction in oxidative stress-induced C6 gliomal cells, proinflammatory-activated BV2 microglial cells, and scopolamine-induced amnesia model in mice [J]. BMC Complement Altern Med, 2017, 17: 367.

[8] Li BY, Peng C, Shu HZ, et al. A novel sesquiterpenoid from *Curcuma longa* L. [J]. Acta Pharm Sin (药学学报), 2022, 57: 3603-3607.

[9] Shu HZ, Qiao MM, Xiong L, et al. A novel norbisabolane-type sesquiterpenoid from *Curcuma longa* [J]. Chin Tradit Pat Med (中成药), 2021, 43: 2404-2407.

[10] Ti H, Mai Z, Wang Z, et al. Bisabolane-type sesquiterpenoids from *Curcuma longa* L. exert anti-influenza and anti-inflammatory activities through NF-κB/MAPK and RIG-1/STAT1/2 signaling pathways [J]. Food Funct, 2021, 12: 6697-6711.

[11] Ge YW, Gao HM, Wang ZM. Advances in study of genus *Curcuma* [J]. China J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2007, 32: 2461-2467.

[12] Guo YQ, Wu GX, Peng C, et al. New bisabolane-type sesquiterpenoids from *Curcuma longa* and their anti-atherosclerotic activity [J]. Molecules, 2023, 28: 2704.

[13] Liu Y, Liu F, Qiao MM, et al. Curcumanes A and B, two bicyclic sesquiterpenoids with significant vasorelaxant activity from *Curcuma longa* [J]. Org Lett, 2019, 21: 1197-1201.

[14] Qiao MM, Liu F, Liu Y, et al. Curcumane C and (±)-curcumane D, an unusual *seco*-cadinane sesquiterpenoid and a pair of unusual *nor*-bisabolane enantiomers with significant vasorelaxant activity from *Curcuma longa* [J]. Bioorg Chem, 2019, 92: 103275.

[15] Guo YQ, Shu HZ, Qiao MM, et al. A new *seco*-bisabolane-type sesquiterpenoid from *Curcuma longa* [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2021, 52: 5814-5818.

[16] Yuan T, Zhang C, Qiu C, et al. Chemical constituents from *Curcuma longa* L. and their inhibitory effects of nitric oxide production [J]. Nat Prod Res, 2017, 32: 1887-1892.

[17] Hasegawa T, Nakatani K, Fujihara T, et al. Aroma of turmeric: Dependence on the combination of groups of several odor constituents [J]. Nat Prod Commun, 2015, 10: 1047-1050.

[18] Zeng YC, Liang JM, Qu GX, et al. Chemical constituents of *Curcuma longa* I: Bisabolane sesquiterpenes [J]. Chin J Med Chem (中国药物化学杂志), 2007, 17: 238-262.

[19] Huang N. Advancements in the study of active constituents, extraction, preparation, and application of turmeric [J]. Mod Chem Res (当代化工研究), 2025, 15: 43-45.

[20] Lee H, Liu Z, Dong L, et al. Anti-neuroinflammatory and neuroprotective effect of intermedin B isolated from the *Curcuma longa* L. *via* NF-κB and ROS inhibition in BV2 microglia and HT22 hippocampal cells [J]. Int J Mol Sci, 2023, 24: 7390.

[21] Dosoky NS, Setzer WN. Chemical composition and biological activities of essential oils of *Curcuma* species [J]. Nutrients, 2018, 10: 1196.

[22] Feng LP, Lu LH, Yuan MR, et al. Two pairs of bisabolane sesquiterpenoid stereoisomers, bisacurone D-G, from the rhizome of *Curcuma longa* L. [J]. Fitoterapia, 2020, 146: 104701.

[23] Chen JF, Liu F, Qiao MM, et al. Vasorelaxant effect of curcubisabolanin A isolated from *Curcuma longa* through the PI3K/Akt/eNOS signaling pathway [J]. J Ethnopharmacol, 2022, 294: 115332.