

# 从辣木籽中制备 4- $\alpha$ -L-鼠李糖基-异硫氰酸苄酯的工艺优化研究\*

杨 扬<sup>1,2</sup>, 贺水莲<sup>3</sup>, 唐明霆<sup>2</sup>, 戴吴兰<sup>2</sup>, 史崇颖<sup>4</sup>,  
田 洋<sup>1\*\*</sup>, 盛 军<sup>1\*\*</sup>

(1. 云南农业大学, 云南省生物大数据重点实验室, 云南昆明 650201;

2. 云南农业大学 理学院, 云南昆明 650201;

3. 云南农业大学 园林园艺学院, 云南昆明 650201;

4. 云南农业大学 食品科学技术学院, 云南昆明 650201)

**摘要:**【目的】探索从辣木籽中酶解提取 4- $\alpha$ -L-鼠李糖基-异硫氰酸苄酯 (4-[( $\alpha$ -L-rhamnosyloxy) benzyl] isothiocyanate, GMG-ITC) 的工艺条件及纯化方法。【方法】通过单因素和正交试验的方法, 优化了对脱油辣木籽中硫代葡萄糖苷进行酶解提取, 进而以二氯甲烷为溶剂进行萃取及重结晶可获得高纯度的 GMG-ITC。【结果】通过高效液相色谱法测定酶解提取液中 GMG-ITC 含量, 筛选出制备辣木籽 GMG-ITC 的最佳酶解提取工艺为: 时间 9 h, 料液比 1 : 60 (g : mL), pH 值为 5.0, 温度 30 ℃。【结论】建立了简化且高效的辣木籽脱油、酶解提取、萃取、重结晶 4 步新工艺组合, 制备得到产率为 4.70%、纯度达 98% 的 GMG-ITC。

**关键词:** 辣木籽; 4- $\alpha$ -L-鼠李糖基-异硫氰酸苄酯; 高效液相色谱法; 提纯工艺优化

中图分类号: R 284.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-390X (2019) 02-0303-06

## Optimization of Preparation Technology of 4-[( $\alpha$ -L-Rhamnosyloxy) Benzyl] Isothiocyanate from *Moringa Oleifera* Seeds

YANG Yang<sup>1,2</sup>, HE Shuilian<sup>3</sup>, TANG Mingting<sup>2</sup>, DAI Wulan<sup>2</sup>, SHI Chongying<sup>4</sup>,  
TIAN Yang<sup>1</sup>, SHENG Jun<sup>1</sup>

(1. Yunnan Key Laboratory of Biomass Big Data, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. College of Science, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

3. College of Landscape and Horticulture, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

4. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** [Purpose] To optimize of enzymatic hydrolysis and purification conditions of 4-[( $\alpha$ -L-rhamnosylbenzyl)] isothiocyanate (GMG-ITC) from *Moringa oleifera* seeds. [Methods] Through single factor and orthogonal experiments, we optimized the conditions for enzymatic extraction of glucosinolates from the de-oiled *M. oleifera* seeds. Then, the high purity GMG-ITC by extraction and

收稿日期: 2017-11-11 修回日期: 2017-12-14 网络出版时间: 2019-01-25

\*基金项目: 国家木薯产业技术体系 (CARS-11-YNSJ); 云南省应用基础研究计划青年项目 (2016FD024); 云南省教育厅科学研究基金项目 (2015Y193); 云南省大学生创新创业训练计划项目 (2016106760035)。

作者简介: 杨扬 (1985—), 男, 云南昆明人, 博士, 讲师, 主要从事药物化学及食品功效研究。

E-mail: [kkeloyy@163.com](mailto:kkeloyy@163.com)

\*\*通信作者 Corresponding authors: 田洋 (1982—), 男, 辽宁北镇人, 博士, 教授, 主要从事食品功效研究与开发。  
E-mail: [tianyang1208@163.com](mailto:tianyang1208@163.com); 盛军 (1962—), 男, 辽宁本溪人, 博士, 教授, 主要从事生物资源开发利用研究。E-mail: [shengj@ynau.edu.cn](mailto:shengj@ynau.edu.cn)

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201711027](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201711027)

recrystallization with methylene chloride were obtained. [Result] An optimum condition for enzymatic hydrolysis was obtained as following: material to solvent ratio 1:60 (g:mL), temperature 30 °C, reaction time 9 h, pH 5, by HPLC analyzing. [Conclusion] We described a simple and efficient four-step process including de-oiling, enzymatic hydrolysis, extraction and recrystallization to afford GMG-ITC from *M. oleifera* seeds, an overall yield of 4.70% was achieved with 98% purity.

**Keywords:** *Moringa oleifera* seeds; 4-[( $\alpha$ -L-rhamnosyloxy)benzyl] isothiocyanate; HPLC; purification process optimization

辣木 (*Moringa oleifera* Lam.) 是营养丰富且“药食同源”的热带多功能植物，全株各部分均可食用<sup>[1]</sup>。其中，辣木籽富含蛋白质、油脂、维生素、矿物元素等营养成分，辣木籽含有丰富的维生素 E，含量高达 7.52 mg/g<sup>[2]</sup>。辣木籽油中含有 70% 化学稳定性高的油酸，是理想的食用植物油及化妆品用油品种<sup>[3]</sup>。

在辣木籽的药理功效研究中，SINGH 等<sup>[4]</sup>发现辣木籽多酚具有通过清除氧自由基而抗氧化的活性。AL-MALKI 等<sup>[5]</sup>发现小剂量的辣木籽提取物对大鼠诱导型 I 型糖尿病和胰岛素抵抗 II 型糖尿病有改善作用。HAMZA 等<sup>[6]</sup>发现辣木籽提取物通过抗炎机制以减少大鼠诱导型肝损伤和纤维化症状。辣木籽中含量在 9% 左右的硫代葡萄糖苷<sup>[7]</sup>，其酶解产物 4- $\alpha$ -L-鼠李糖基-异硫氰酸苄酯 (4-[( $\alpha$ -L-rhamnosyloxy) benzyl] isothiocyanate, GMG-ITC) 具有广泛且显著的生物活性。GMG-ITC 对金黄色葡萄球菌及大肠杆菌有显著的抗菌效果<sup>[8]</sup>。BRUNELLI 等<sup>[9]</sup>发现 GMG-ITC 通过抑制 NF-B 表达能够减少裸鼠体内骨髓瘤细胞繁殖。WATERMAN 等<sup>[10]</sup>发现 GMG-ITC 在巨噬细胞中通过下调炎症因子 iNOS 及 IL-1 $\beta$  的产生而发挥抗炎活性。GIACOPPO 等<sup>[11]</sup>还发现 GMG-ITC 通过上述抗氧化机制对小鼠脊髓损伤后继发性损伤具有保护作用。

目前对 GMG-ITC 的酶解提取及分离纯化步骤较为烦琐，主要通过黑芥子酶对辣木籽中硫代葡萄糖苷进行水解，并通过阴离子交换树脂、大孔树脂分离获得 GMG-ITC 及其他 3 种乙酰化衍生物混合物<sup>[10]</sup>。由于此类异硫氰酸酯对热不稳定，所以在上述柱色谱分离中水、醇等溶剂浓缩过程中，造成异硫氰酸酯的降解变质，产率仅为 1.66% 左右。该混合物经高效液相色谱分离后，仅能制备痕量 GMG-ITC 纯品。本研究通过高效液相色谱法检测辣木籽酶解提取液中 GMG-ITC 的产率

为评价标准，以酶解过程中料液比、酶解温度、pH 值和酶解时间为考察因素，通过单因素和正交试验法优化该成分的酶解提取工艺参数。首次通过简化的脱油、酶解、二氯甲烷萃取及重结晶 4 个步骤制备高纯度 GMG-ITC，为辣木籽中异硫氰酸酯类功效成分的制备及活性研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

辣木籽产自云南德宏，购于天佑科技开发有限公司，常温避光储藏。将辣木籽去壳并粉碎后，过 30 目筛备用。4- $\alpha$ -L-鼠李糖基-异硫氰酸苄酯 (尚无供应厂商) 为云南省生物大数据实验室自行制备，经<sup>1</sup>H、<sup>13</sup>C 核磁共振波谱及 HR-MS 数据与文献<sup>[7]</sup>对照一致，且 HPLC 分析纯度达 98%。试验用石油醚、二氯甲烷、乙酸乙酯、丙酮、乙醇、甲醇均为分析纯级。所用水为去离子水。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 4- $\alpha$ -L-鼠李糖基-异硫氰酸苄酯 (GMG-ITC) 的含量测定

GMG-ITC 的含量测定采用高效液相色谱 (HPLC) 分析法 (Agilent 1220 高效液相色谱仪)。色谱柱：Hypersil C18 (4.6 mm×150 mm, 10 $\mu$ m)；流动相：乙腈 (A)–水 (B)；采用梯度洗脱：0→10 min (5%~100%)；流速 1 mL/min；进样量 20  $\mu$ L；检测波长：230 nm。

#### 1.2.2 标准曲线的绘制

用电子天平 (北京赛多利斯天平有限公司) 精密称取 GMG-ITC 标准品 20 mg，放入 10 mL 容量瓶中，乙腈溶解至刻度，摇匀，具塞。分别吸取此标准品溶液 1.0、0.8、0.6、0.5、0.4、0.3、0.2、0.1 和 0.05 mL 至 1 mL 容量瓶中，加入乙腈至刻度，摇匀，得到浓度分别为 2.0、1.6、1.2、1.0、0.8、0.6、0.4、0.2 和 0.1 mg/mL 的 GMG-

ITC 溶液。高效液相色谱法测定其峰面积, 平行 3 次取平均值, 以含量为横坐标, 峰面积为纵坐标绘制标准曲线。所得回归方程为:  $y=16749x-5383.8$ ,  $R^2=0.9983$ 。式中,  $y$  为样品液的峰面积;  $x$  为样品液中 GMG-ITC 的含量 (mg/mL)。

### 1.2.3 酶解提取液中 GMG-ITC 的测定方法

将不同条件下的辣木籽酶解提取液用 0.22  $\mu$ m 滤膜过滤后, 按 1.2.1 节中 HPLC 方法测定其峰面积, 根据 1.2.2 节中标准曲线进一步换算出酶解提取液中 GMG-ITC 的含量及产率。

### 1.2.4 供试品 GMG-ITC 酶解提取液制备方法

将辣木籽粉装入索氏提取器, 用中药袋密封, 以石油醚为脱油溶剂, 加热回流, 脱油 12 h 以上, 至脱油完全。脱油后辣木籽粉常温晾干后, 加入玻璃烧杯中, 以 1:50 的溶剂倍数加入纯净水, 用乙酸调 pH 值为 5, 并放入 30 °C 水浴锅中, 在 30 °C 温度下机械搅拌 8 h。以离心机 4 000 r/min 离心该酶解提取液 5 min, 取出上清液, 该上清液用于不同酶解提取条件的 GMG-ITC 含量分析。

#### (1) 单因素条件优化试验

准确称量 1.0 g 脱油辣木籽干燥粉, 加入纯净水中。分别考察不同的料液比 (1:10、1:20、1:30、1:40、1:50 和 1:60) (g:mL)、反应时间 (2、4、6、8、10、12、14 和 16 h)、反应温度 (20、25、30、35、40 和 45 °C)、pH 值 (3、4、5、6、7、8、9、10、11 和 12) 对辣木籽酶解提取液中 GMG-ITC 产率的影响, 平行 3 次操作, 取平均值。

#### (2) 正交试验法优化试验

在单因素试验结果的基础上, 选取对 GMG-ITC 生成量影响较显著的酶解料液比、时间、温度、pH 值 4 个因素进行  $L_9(3^4)$  正交试验设计, 确定最佳的 GMG-ITC 酶解提取工艺, 平行 3 次操作, 取平均值。

### 1.2.5 GMG-ITC 的纯化制备

在上述优化条件下制备得到的酶解提取液, 用体积为 1/3 的二氯甲烷对提取液萃取 3 次。合并二氯甲烷部分, 用旋转蒸发仪在 30 °C 且避光条件下减压浓缩该萃取液。得到的白色固体 GMG-ITC 粗产品用二氯甲烷反复重结晶, 经 5 次重结晶后, 可得到 GMG-ITC 纯品, 纯度由高效液相色谱法检测。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同酶解提取因素对 GMG-ITC 产量的影响

#### 2.1.1 溶剂倍数对 GMG-ITC 得率的影响

由图 1 可知: GMG-ITC 的生成量随料液比的增加而增加, 在料液比为 1:50 时达到最大值, 继续增加料液比为 1:60 时 GMG-ITC 得率没有提高, 反而稍降。故把料液比 1:50 确定为最佳酶解提取的料液比条件。

#### 2.1.2 温度对 GMG-ITC 得率的影响

由图 1 可见: 30 °C 以下 GMG-ITC 的产率稳步增长, 随温度升高, GMG-ITC 酶解及水溶性增加, 以致 GMG-ITC 在酶解提取液中含量的增长。但超过 30 °C, 在酶未失活的情况下, 如 35 °C, GMG-ITC 的产率比 30 °C 下降约 50%。分析原因是 GMG-ITC 化学性质不稳定, 在超过 30 °C 的情况下变得极不稳定导致的。特别是继续增加温度至 40 °C 和 50 °C, 受到酶失活及 GMG-ITC 降解变质的双重影响, GMG-ITC 的产率急剧下降。因此, GMG-ITC 的提取纯化中要严格控制温度低于 35 °C, 其中 30 °C 为最佳提取温度。

#### 2.1.3 反应时间对 GMG-ITC 得率的影响

由图 1 可知: 酶解提取 8 h GMG-ITC 的产率达到最大值。8 h 之前, 可能由于 GMG-ITC 酶解率持续增加造成产率不断增加。在 8 h 酶解完全之后, GMG-ITC 产率开始出现下降, 也是由于 GMG-ITC 结构的不稳定性造成的, 长时间溶于水中也会导致 GMG-ITC 的降解变质。特别在反应 12 h 后, 产率下降为 8 h 的 49%, 在 14 h 以后 GMG-ITC 降解彻底, 说明 GMG-ITC 不能长时间处于溶剂溶解状态。

#### 2.1.4 pH 值对 GMG-ITC 得率的影响

由图 1 可见: 酶解液酸碱度对 GMG-ITC 得率的影响显著。在强酸 (pH=3) 或强碱 (pH=10、11) 的环境中, 辣木籽中黑芥子酶处于失活状态, 几乎无 GMG-ITC 产生。当 pH=5 时, 酶活性达到最高值, 随 pH 值的减小或升高, 酶的活性都明显下降, GMG-ITC 产率也随之降低。

### 2.2 正交试验结果

根据单因素试验的结果, 确定料液比、温度、时间、pH 值为影响 GMG-ITC 酶解提取产率的主要因素, 而且确定各个因素的水平, 其中料液比 (g:mL) 分别为 1:40、1:50、1:60, 温度分别为 25、30 和 35 °C, 时间分别为 7、8 和

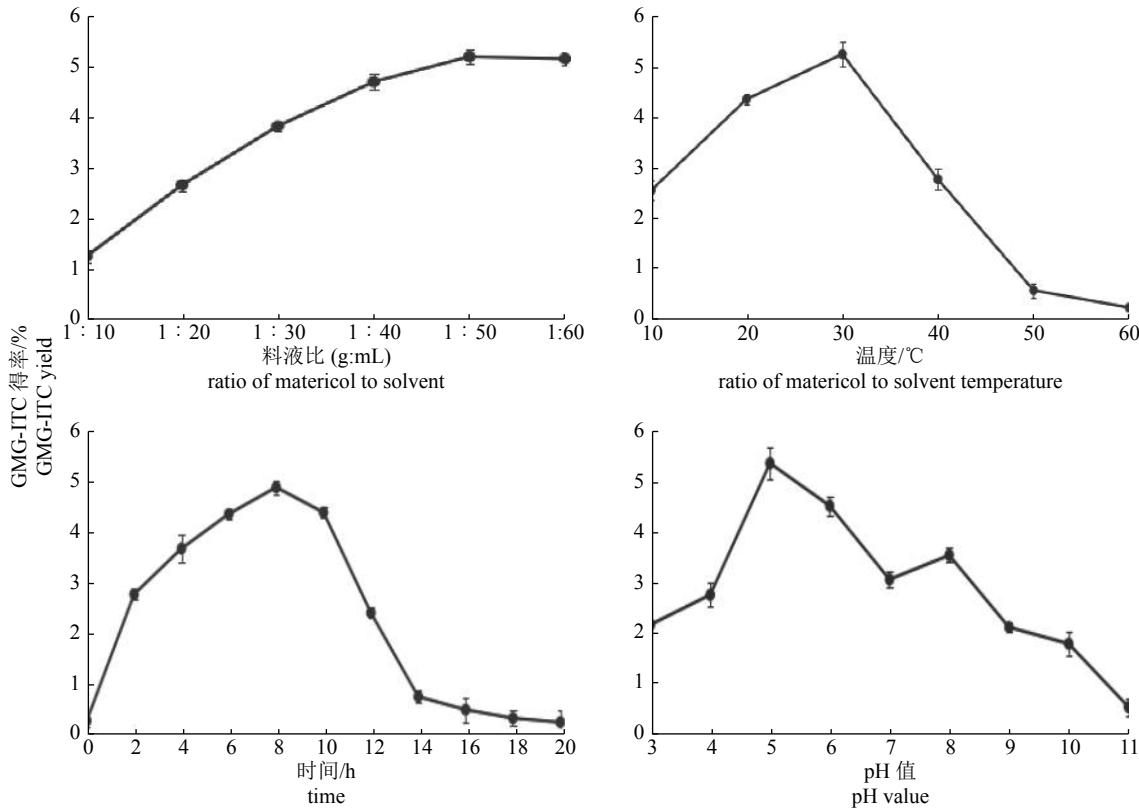


图1 温度、反应时间和pH值对GMG-ITC得率的影响

Fig. 1 Effects of ratio of material to solvent, temperature, reaction time and pH value on the GMG-ITC yield

9 h, pH值分别为4、5和6。因此,正交试验采用 $L_9(3^4)$ 的方法(表1)进行试验,来确定最佳酶解提取工艺。

表1 正交试验因素水平表  
Tab. 1 The conditions of orthogonal test

水平 level	料液比(g:mL) ratio of material to solvent	温度/°C temperature	时间/h time	pH
1	1:40	25	7	4
2	1:50	30	8	5
3	1:60	35	9	6

从表2的正交试验极差 $R$ 值可见:料液比、温度、时间、pH值4个因素对GMG-ITC得率的影响程度依次为:温度>pH值>时间>料液比。正交试验确定最佳GMG-ITC酶解提取工艺为 $A_3B_2C_3D_2$ ,即料液比(g:mL)为1:60、温度30 °C、时间9 h、pH值为5。该项优化条件后被用于3次放大为1 000 g辣木籽的重复酶解提取试验中,平均产率为5.25%,说明该工艺稳定可行。

### 2.3 GMG-ITC的分离纯化

按上述优化条件得到的酶解提取液继续通过有机溶剂萃取得到GMG-ITC粗品,在对比石油

醚、二氯甲烷、乙酸乙酯、丙酮几种溶剂的萃取效果后,发现用二氯甲烷能将GMG-ITC较完全地萃取出来,并且对极性较大的蛋白或多糖类物质萃取率最低。所以本研究选择二氯甲烷为酶解提取液的萃取溶剂,使用提取液1/3倍的二氯甲烷,可通过3次萃取将GMG-ITC完全萃取出来,用薄层层析硅胶板点样检测。

在得到GMG-ITC粗品后,因为其结构不稳定,在柱层析及浓缩过程中都易受加热影响变质。所以本研究采用反复重结晶法纯化得到的粗产品,在多种溶剂的重结晶效果选择中,发现二氯甲烷依然是GMG-ITC重结晶的最佳溶剂,石油醚、乙酸乙酯、丙酮等溶剂几乎不能产生结晶。使用二氯甲烷在30 °C下溶解GMG-ITC粗品后缓慢降温,后在-20 °C保存5 h,可完成重结晶。重结晶纯度随次数而增加,最高可在5次重结晶后得到98%纯度的GMG-ITC,总产率为4.70%。该化合物通过<sup>1</sup>H、<sup>13</sup>C核磁共振波谱及高分辨质谱数据与文献[7]对照一致,确定其结构无误。化合物GMG-ITC相关数据为:<sup>1</sup>H-NMR(DMSO-d<sub>6</sub>, 500 MHz),  $\delta$ : 7.30 (2H, d,  $J$ =8.9

表 2 正交试验及结果分析

Tab. 2 The schemes and results analysis of orthogonal experiment

编号 No.	料液比 (g : mL) ratio of material to solvent	温度/°C temperature	时间/h time	pH	GMG-ITC 得率/% GMG-ITC yield
1	1	1	1	1	3.625
2	1	2	2	2	4.706
3	1	3	3	3	2.193
4	2	1	2	3	3.551
5	2	2	3	1	4.264
6	2	3	1	2	2.328
7	3	1	3	2	4.620
8	3	2	1	3	3.793
9	3	3	2	1	2.516
K1	10.524	11.796	9.730	10.405	
K2	10.143	12.763	10.763	11.654	
K3	10.929	7.037	11.070	9.537	
k1	3.508	3.932	3.243	3.468	
k2	3.381	4.254	3.588	3.885	
k3	3.643	2.346	3.690	3.179	
R	0.262	1.909	0.447	0.706	

Hz), 7.05 (2H, d,  $J=8.9$  Hz), 5.37 (1H, d,  $J=1.9$  Hz), 4.85 (2H, s), 3.80 (1H, dd,  $J=3.6$ , 1.8 Hz), 3.62 (1H, dd,  $J=9.5$ , 3.7 Hz), 3.43 (1H, m), 3.26 (1H, t,  $J=9.5$  Hz), 1.07 (d,  $J=6.1$  Hz)。 $^{13}\text{C}$ -NMR(DMSO-d6, 125MHz),  $\delta$ : 155.9, 128.8, 128.0, 116.7, 98.3, 71.7, 70.4, 70.21, 69.6, 47.6, 17.9. MS (ESI $^+$ ) m/z: 334 [M+Na] $^+$ , HRMS (ESI) calcd for  $\text{C}_{14}\text{H}_{17}\text{NO}_5\text{S}[\text{M}+\text{Na}]^+$  334.072 0, found 334.072 2。

### 3 讨论

GMG-ITC 生物活性显著, 但在目前对其进行提取分离<sup>[10]</sup>或化学全合成<sup>[12]</sup>的报道中, 制备纯化 GMG-ITC 的工艺均较为复杂, 且产率较低, 这对辣木籽中有效成分的活性研究及药物开发造成了不利影响。本研究发现: GMG-ITC 的稳定性较差, 受光照和温度因素影响较大, 提取温度高于 40 °C 后 GMG-ITC 的降解变质就非常显著。在辣木籽酶解提取过程中未使用醇类溶剂, 避免了后续溶剂浓缩过程的 GMG-ITC 的降解。这也解释了其他相关研究中, 由于常规提取分离过程需经过多次柱色谱分离及溶剂(如高沸点的水、醇等)浓缩过程, 造成了 GMG-ITC 的变质而不易获得的结果。本研究针对 GMG-ITC 高温易降解, 而 GMG-ITC 酶解的前体硫代葡萄糖苷

(glucomoringin) 在高温下较稳定的特性<sup>[13]</sup>, 在辣木籽硫代葡萄糖苷酶解生成 GMG-ITC 前, 使用索氏提取脱油法对辣木籽中大量影响 GMG-ITC 纯化的油脂类杂质进行去除, 再进行酶解, 并对酶解过程中的温度、料液比、pH 值及时间因素进行了优化, 使辣木中 GMG-ITC 得到充分富集。在酶解后规避了常规的柱色谱分离手段, 而使用低沸点溶剂二氯甲烷对 GMG-ITC 进行萃取和反复重结晶, 该工艺能够获得产率损失最少、纯度较高的 GMG-ITC 产品。本研究首创的脱油、酶解、萃取及重结晶四步工艺, 为 GMG-ITC 的大量制备提供了高效制备途径, 同时也保障了后续对 GMG-ITC 动物水平的各项活性研究, 为其他类似性质的异硫氰酸酯的制备提供参考。不过, 对 GMG-ITC 进行酶解提取后, 萃取和重结晶等纯化方法及具体工艺参数的优化尚可由后续研究完善。

### 4 结论

通过单因素试验及正交试验, 得到辣木籽内 GMG-ITC 的最佳酶解提取工艺, 即料液比 (g : mL) 为 1 : 60、温度 30 °C、时间 9 h、pH 值为 5。在各个因素中, 影响 GMG-ITC 提取率程度依次为: 温度>pH>时间>料液比。对此条件下得到的酶解提取液, 首次采用简化高效的萃取、

减压浓缩及重结晶步骤,即可获得高纯度且总得率为4.70%的4- $\alpha$ -L-鼠李糖基-异硫氰酸苄酯(GMG-ITC)。

#### [参考文献]

- [1] 张燕平,段琼芬,苏建荣.辣木的开发与利用[J].热带农业科学,2004,24(4): 42. DOI: [10.3969/j.issn.1009-2196.2004.04.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-2196.2004.04.010).
- [2] 苏瑶,赵一鹤,冯武,等.云南引种辣木籽营养成分分析与评价[J].西部林业科学,2015(4): 142. DOI: [10.16473/j.cnki.xblykx1972.2015.04.027](https://doi.org/10.16473/j.cnki.xblykx1972.2015.04.027).
- [3] 段琼芬,刘飞,罗金岳,等.辣木籽油的超临界CO<sub>2</sub>萃取及其化学成分分析[J].中国油脂,2010,35(2): 76.
- [4] SINGH B N, SINGH B, SINGH R, et al. Oxidative DNA damage protective activity, antioxidant and anti-quorum sensing potentials of *Moringa oleifera*[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47(6): 34.
- [5] AL-MALKI A L, EL RABEY H A. The antidiabetic effect of low doses of *Moringa oleifera* Lam. seeds on streptozotocin induced diabetes and diabetic nephropathy in male rats[J]. BioMed Research International, 2015(2015): 381040. DOI: [10.1155/2015/381040](https://doi.org/10.1155/2015/381040).
- [6] HAMZA A A. Ameliorative effects of *Moringa oleifera* Lam seed extract on liver fibrosis in rats[J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(1): 345. DOI: [10.1016/j.fct.2009.10.022](https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.10.022).
- [7] GUEYRARD D, IORI R, TATIBOUËT A, et al. Glucosinolate chemistry: synthesis of *O*-glycosylated derivatives of glucosinalbin[J]. European Journal of Organic Chemistry, 2010(19): 201000246.
- [8] GALUPPO M, NICOLA G, IORI R, et al. Antibacterial activity of glucomoringin bioactivated with myrosinase against two important pathogens affecting the health of long-term patients in hospitals[J]. Molecules, 2013, 18(11): 10.
- [9] BRUNELLI D, TAVECCHIO M, FALCIONI C, et al. The isothiocyanate produced from glucomoringin inhibits NF- $\kappa$ B and reduces myeloma growth in nude mice *in vivo*[J]. Biochemical Pharmacology, 2010, 79(8): 1141. DOI: [10.1016/j.bcp.2009.12.008](https://doi.org/10.1016/j.bcp.2009.12.008).
- [10] WATERMAN C, CHENG D M, ROJAS-SILVA P, et al. Stable, water extractable isothiocyanates from *Moringa oleifera* leaves attenuate inflammation *in vitro*[J]. Phytochemistry, 2014, 103(10): 114. DOI: [10.1016/j.phytochem.2014.03.028](https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.03.028).
- [11] GIACOPPO S, GALUPPO M, DE NICOLA G R, et al. 4( $\alpha$ -L-rhamnosyloxy)-benzyl isothiocyanate, a bioactive phytochemical that attenuates secondary damage in an experimental model of spinal cord injury[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2015, 23(1): 80. DOI: [10.1016/j.bmc.2014.11.022](https://doi.org/10.1016/j.bmc.2014.11.022).
- [12] GUEYRARD D, BARILLARI J, IORI R, et al. First synthesis of an *O*-glycosylated glucosinolate isolated from *Moringa oleifera*[J]. Tetrahedron Letters, 2000, 41(43): 8307. DOI: [10.1016/S0040-4039\(00\)01466-0](https://doi.org/10.1016/S0040-4039(00)01466-0).
- [13] BRUNELLI D, TAVECCHIO M, FALCIONI C, et al. The isothiocyanate produced from glucomoringin inhibits NF- $\kappa$ B and reduces myeloma growth in nude mice *in vivo*[J]. Biochemical Pharmacology, 2010, 79(8): 1141. DOI: [10.1016/j.bcp.2009.12.008](https://doi.org/10.1016/j.bcp.2009.12.008).

责任编辑: 何承刚