

高效液相色谱-串联质谱法检测新鲜芝麻菜中芝麻菜苷

余 静¹, 冷桃花², 吴 新², 宫 衡^{1*}, 葛 宇^{2*}

[1. 华东理工大学生物工程学院, 上海 200237;

2. 上海市质量监督检验技术研究院/国家食品检验检测中心(上海), 上海 200233]

摘 要: **目的** 建立高效液相色谱-串联质谱法(high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)测定新鲜芝麻菜中芝麻菜苷的检测新技术。**方法** 芝麻菜样品采用 80% (V/V) 甲醇-水在 70 °C 水浴下振荡提取 20 min, 离心取上清液于 45 °C 氮气条件下吹干, 超纯水超声复溶, 以 0.1% 甲酸水溶液-乙腈为流动相进行梯度洗脱, 经 C₁₈ 色谱柱进行分离, 采用电喷雾负离子多反应监测模式(multiple response monitoring, MRM)对新鲜芝麻菜中芝麻菜苷进行检测, 外标法定量。**结果** 芝麻菜苷在 10~500 ng/mL 浓度范围内线性良好($r^2 \geq 0.998$), 检出限为 3.0 µg/kg, 定量限为 10.0 µg/kg, 新鲜芝麻菜中加标回收率为 92.1%~101.0%, 相对标准偏差为 3.86%。应用本研究建立的方法对不同生长周期芝麻菜中芝麻菜苷含量检测, 其含量及变化趋势与文献报道基本一致。**结论** 本方法操作简便、灵敏度和回收率高、重复性好, 适用于新鲜芝麻菜中芝麻菜苷的检测。

关键词: 芝麻菜苷; 芝麻菜; 高效液相色谱-串联质谱法

Determination of glucoerucin in fresh *Eruca sativa* Mill by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

YU Jing¹, LENG Tao-Hua², WU Xin², GONG Heng^{1*}, GE Yu^{2*}

[1. School of Biological Engineering, East China University of Science Technology, Shanghai 200237, China; 2. Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research/National Food Inspection and Testing Center (Shanghai), Shanghai 200233, China]

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of glucoerucin in *Eruca sativa* Mill by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS). **Methods** The samples were extracted with 80% (V/V) methanol-water in 70 °C water bath for 20 min. After centrifugation, the supernatant was dried in nitrogen at 45 °C and ultrasonically dissolved in ultrapure water, and separated on a C₁₈ column using 0.1% formic acid aqueous solution and acetonitrile as mobile phase, glucoerucin in fresh *Eruca sativa* was detected by electrospray negative ion and multiple response monitoring (MRM) mode, and quantified by external standard method. **Results** The linear range of

基金项目: 上海市科技兴农项目(2019-02-08-00-02-F01153)

Fund: Supported by the Shanghai Agriculture Applied Technology Development Program (2019-02-08-00-02-F01153)

*通信作者: 宫衡, 博士, 教授, 主要研究方向为发酵工程和应用分子生物学。E-mail: gongheng@ecust.edu.cn

葛宇, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为食品化妆品检测及评估。E-mail: geyu@sqi.org.cn

*Corresponding authors: Gong Heng, Ph.D, Professor, East China University of Science and Technology, No.130, Meilong Road, Xuhui District, Shanghai 200237, China. E-mail: gongheng@ecust.edu.cn

GE Yu, Ph.D, Professor, Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, No.381, Cangwu Road, Xuhui District, Shanghai 200233, China. E-mail: geyu@sqi.org.cn

glucoerucin was 10–500 ng/mL ($r^2 \geq 0.998$). The limit of detection was 3.0 $\mu\text{g/kg}$, and the limit of quantification was 10.0 $\mu\text{g/kg}$. The recoveries of fresh *Eruca sativa* Mill were 92.1%–101.0%, and the relative standard deviation was 3.86%. The method established in this study was applied to determine the content of glucoerucin in *Eruca sativa* Mill of different growth cycles, and content and changing trend were basically consistent with the literature reports. **Conclusion** This method is sample, sensitive and repeatable, and can be used for the determination of glucoerucin in *Eruca sativa* Mill.

KEY WORDS: glucoerucin; *Eruca sativa* Mill; high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

0 引言

芝麻菜(*Eruca sativa* Mill), 又称“火箭沙拉”, 是国内目前较为新型的绿叶蔬菜, 因其具有独特的芝麻风味, 在即食蔬菜中颇有流行趋势^[1]。研究表明, 芝麻菜富含 β -胡萝卜素、维生素 C、膳食纤维、黄酮多酚类等植物营养素, 在天然抗氧化剂中发挥着非常重要的作用^[2–4]; 此外, 芝麻菜中还含有重要次生代谢产物芝麻菜苷, 约占其总硫代葡萄糖苷含量的 95%^[5–6]。当植物组织被人体食用或者机械破碎时, 芝麻菜苷可以被内源黑芥子酶水解生成芝麻菜素(erucin), 芝麻菜素是 II 型酶有效诱导剂, 同时 II 型酶的激活也是抗癌功能发挥的关键^[7]; 其次芝麻菜素在一定条件下可以和萝卜硫素(sulforaphane, SFN)相互转化, 萝卜硫素不仅具有很强抗氧化活性, 也是目前蔬菜中天然抗癌效力最强的活性物质^[8]。目前, 蔬菜中硫代葡萄糖苷的研究多集中在十字花科芸薹属, 对芝麻菜中芝麻菜苷的研究比较少。研究表明, 芝麻菜中芝麻菜苷比颇为热门的芸薹属蔬菜含量要高, 同时芝麻菜中总硫苷含量也明显高于其他类别的十字花科类蔬菜^[9]。

国内外检测硫苷的方法主要分为直接法和间接法。间接法中比较常见的是通过测定硫酸酯酶水解产物间接定性定量分析, 国际标准化组织在 2019 年颁布了 ISO 9167-1: 2019 (E)推荐使用高效液相色谱法(high-performance liquid chromatography, HPLC), 但其水解过程步骤较多, 操作复杂, 易产生误差。直接法是不破坏完整成分直接完成定性定量, 我国在 2018 年也颁布了 NY/T 3296—2018《油菜籽中硫代葡萄糖苷的测定 液相色谱-串联质谱法》, 标准检测的众多硫苷中并不包括芝麻菜苷, 其次目前国内外的标准基本都是基于油菜籽中硫苷的检测, 鲜少见新鲜蔬菜中硫苷检测方法的确立, 由于植物组织中含有内源芥子酶存在的特殊性, 国家标准中油菜籽前处理方法并不适用于新鲜蔬菜。同时目前研究报道芝麻菜苷的检测方法包括 HPLC 法^[10–11]、高效液相色谱-串联质谱法(HPLC-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)^[12–15]等也基本采用冷冻干燥灭活黑芥子酶后的蔬菜粉末进行后续研究, 几乎没有关于新鲜蔬菜的直接测定。因此, 开发新鲜芝麻菜中芝麻菜苷的检测技术对提高新鲜芝麻菜的产品附加值, 提升产品农业价值具有重要的社会意义。鉴于此, 本研究通过优化样品前处理方法以及仪器检测方法, 建立了新鲜芝麻菜中芝麻菜苷的 HPLC-MS/MS 检测法, 以期对新鲜芝麻菜

中芝麻菜苷的定量检测提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 仪器与设备

ACQUITY UPLC H-Class 三重四极杆串联质谱仪(美国 Waters 公司); Vortex-Genie 2/2T 涡旋振荡器(美国 SI 公司); MSZO 204S 型电子天平(瑞士 Mettler Toleo 公司); JulaboSW22 恒温振荡水浴摇床(德国 Julabo 公司); 4-16K 离心机(美国 Sigma 公司); N1-28 全自动氮吹浓缩仪(上海屹尧仪器科技发展有限公司); SK5210HP 超声波清洗仪(上海科导超声仪器有限公司)。色谱柱: Zorbax SB C₁₈ (2.1 mm×100 mm, 3.5 μm , 美国 Agilent 公司); Kinetex XB C₁₈ (2.1 mm×150 mm, 1.7 μm , 美国 Phenomenex 公司); HSS C₁₈ SB (2.1 mm×100 mm, 1.8 μm)、BEH C₁₈ (2.1 mm×50 mm, 1.7 μm)、HSS T₃ (2.1 mm×50 mm, 1.8 μm)(美国 Waters 公司)。

1.2 材料与试剂

新鲜芝麻菜由上海百蒂凯蔬果种植专业合作社提供支持, 清洗并匀浆处理后置于 -20 °C 保存。

标准品: 芝麻菜苷(glucoerucin, CAS: 21973-56-8, 纯度 $\geq 98.0\%$, 美国 ChromaDex 公司); 标准储备溶液: 1.00 g/L, 称取芝麻菜苷标准品 100 mg 于 100 mL 容量瓶中, 用超纯水溶解并定容至 100 mL, 于 4 °C 下保存备用。

甲醇、乙醇、甲酸(色谱纯, 美国 Fisher 公司); 实验用水均为超纯水。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理方法

取充分破碎的新鲜芝麻菜样品 2.5 g 左右, 置于 50 mL 离心管, 加入预热至 70 °C 的 80% 甲醇水(V/V, 下同) 20 mL, 涡旋混匀, 70 °C 恒温振荡水浴锅中水浴 20 min, 待冷却后 9000 r/min 条件下离心 5 min, 收集上清液, 用 80% 甲醇水定容至 20 mL, 移取 5 mL 于 45 °C 氮气条件下吹干, 加入 5 mL 超纯水超声复溶, 经 0.22 μm 膜过滤, 根据样品实际浓度适当稀释至标准曲线范围内, 供上机测定分析。

1.3.2 仪器条件

色谱柱: Zorbax SB C₁₈ (2.1 mm×100 mm, 3.5 μm); 流动相: A-0.1% 甲酸水溶液, B-乙腈; 柱温: 30 °C; 进样量: 5 μL 。流动相梯度见表 1。

表 1 流动相梯度表

Table 1 Mobile phase gradient table

时间/min	流速/(mL/min)	A/%	B/%
0	0.3	95	5
1	0.3	95	5
6	0.3	20	80
8	0.3	20	80
10	0.3	95	5

质谱条件: 电喷雾离子源模式: 负离子模式; 毛细管电压: 2.00 kV; 锥孔电压: 20 kV; 脱溶剂气温度: 600 °C; 脱溶剂气流速: 1000 L/h; 碰撞气流速: 0.15 mL/min; 离子源温度: 150 °C; 定量离子: 420/97 (碰撞能: 20); 定性离子: 420/420 (碰撞能: 5)。

2 结果与分析

2.1 色谱条件优化

硫苷具有一定的极性, 目前文献报道多选用 C₁₈ 色谱柱进行分离^[16], 本研究选择了 5 种不同 C₁₈ 柱(Zorbax SB C₁₈、Kinetex XB C₁₈、HSS C₁₈ SB、HSS T₃、BEH C₁₈), 比较了色谱柱对芝麻菜苷的峰形及响应的影响。结果显示, Zorbax SB C₁₈ 在芝麻菜苷的峰形和响应上均优于其他 4 种 C₁₈ 柱(图 1a), 这可能与色谱柱填料相关。

根据文献报道, 三氟乙酸(trifluoroacetic acid, TFA)^[17]和甲酸^[18]诱导硫苷在反相色谱柱上充分保留, 甲酸铵也被用于提供有效的离子配对^[11]。虽然已知 TFA 对质谱中离子信号具有较强的抑制作用, 但甲酸和甲酸铵在一定浓度范围内与质谱兼容。因此, 本研究比较了适合质谱使用的 3 种流动相体系(0.1%甲酸溶液-乙腈、0.2%甲酸溶液-乙腈、5 mmol/L 甲酸铵水-乙腈)对芝麻菜中芝麻菜苷的影响。由图 1b 可知, 芝麻菜苷在 3 种流动相的洗脱下均有较好的峰形, 但其离子对响

应在甲酸-乙腈体系中明显高于甲酸铵体系, 且酸度的增加对芝麻菜苷的分离检测没有产生明显的影响。

综上所述, 本研究选择 Zorbax SB C₁₈ 色谱柱分离, 以 0.1%甲酸水-乙腈为流动相进行梯度洗脱。芝麻菜苷标准色谱图见图 2。

2.2 前处理条件优化

2.2.1 提取溶剂及体积分数对芝麻菜苷提取量的影响

硫苷是一类同时拥有亲水和疏水基团的物质, 文献中通常采用水、甲醇、乙醇、甲醇-水或乙醇-水为提取溶剂^[11,19-21]。由于芝麻菜苷在水中易水解, 高水相体系可能会使部分芝麻菜苷水解而导致提取过程中含量降低。本研究选择了 6 个不同体积分数的甲醇-水和乙醇-水作为提取溶剂, 探讨了不同提取溶剂以及体积分数对芝麻菜苷提取量的影响。研究表明, 甲醇体系对芝麻菜苷的提取效果优于乙醇体系, 芝麻菜苷的提取效率随着甲醇体积比的增加而提高, 至 80%后趋于平缓(图 3)。由于 90%甲醇提取效率与 80%甲醇的提取效率提高不明显, 因此本研究最终选择 80%甲醇水溶液为提取溶剂。

2.2.2 提取温度和提取时间对芝麻菜苷提取量的影响

有文献研究表明硫苷在 50~65 °C 温度下经内源黑芥子酶催化易水解成为异硫氰酸酯^[22], 因此提取芝麻菜中芝麻菜苷首先要防止其水解。本研究探讨了提取温度分别为 30、40、50、60、70、80 °C 下对芝麻菜苷提取效率的影响。实验结果表明, 随着提取温度的上升, 芝麻菜苷提取量随温度的上升而小幅度下降, 至 60 °C 达到最低, 而当温度升高至 70 °C 时, 提取效果明显提升(图 4a)。分析原因可能是内源性黑芥子酶随着提取温度的升高, 活性逐渐增大, 导致芝麻菜苷水解加剧; 当温度大于 60 °C 后, 芝麻菜内的黑芥子酶在高温下被灭活, 芝麻菜苷水解进一步得到缓解, 提取量大幅度提升, 实验所得结果与文献报道基本一致^[22]。

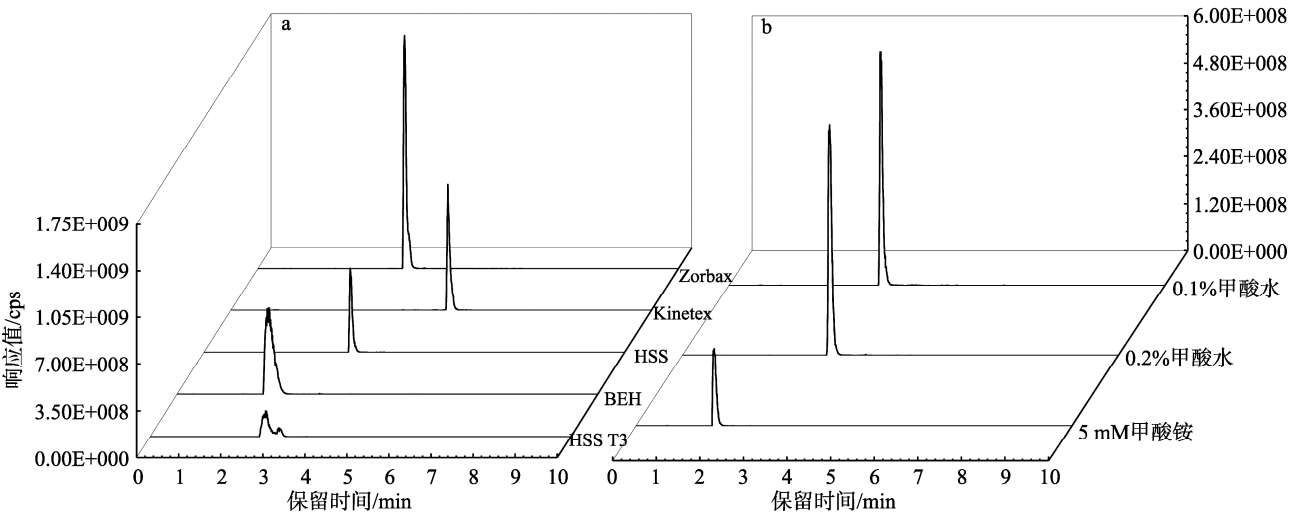


图 1 芝麻菜苷在不同色谱柱(a)和流动相(b)条件下的质谱图
Fig.1 Mass spectrograms of glucoerucin under different chromatographic columns (a) and mobile phase conditions (b)

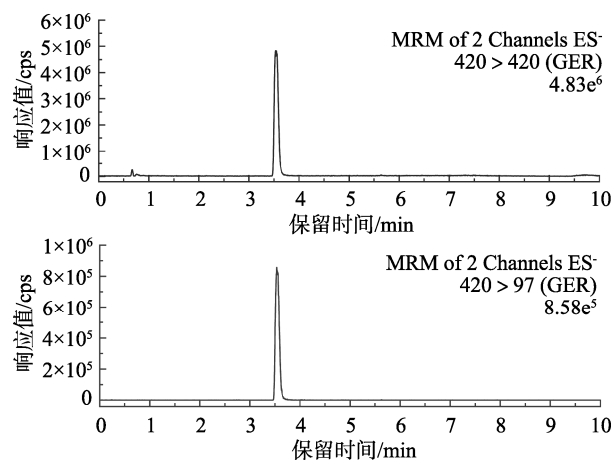


图 2 芝麻菜苷标准色谱图

Fig.2 Standard chromatograms of glucoerucin

同时,本研究还探讨了提取时间对芝麻菜苷提取效率的影响。如图 4b 所示,芝麻菜苷的提取效率在 20 min 时达到最大,随着提取时间的延长,提取效率逐步下降。这可能是由于芝麻菜苷在内源性黑芥子酶的作用下易水解,

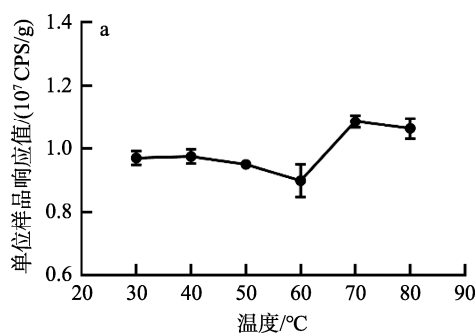


图 4 提取温度(a)和提取时间(b)对新鲜芝麻菜中芝麻菜苷提取量的影响(n=3)

Fig.4 Effects of extraction temperature (a) and time (b) on extraction of glucoerucin in fresh *Eruca sativa* Mill (n=3)

2.2.3 料液比对新鲜芝麻菜苷提取量的影响

提取溶剂与样品量的比例对提取效率存在较大的影响,本研究比较了不同料液比对芝麻菜苷的提取效率。实验结果如图 5 所示,随着料液比的降低,芝麻菜苷的提取量先逐渐升高,至 1:8 (g:mL)达到最高。随着料液比越来越低,有机溶剂使用量逐步增加,更易在后续有机溶剂去除过程中产生较大的损耗,导致芝麻菜苷含量降低,因此本研究选取料液比 1:8 (g:mL)为最佳料液比。

2.3 方法的线性范围、检出限和加标回收率

配制质量浓度 10、20、50、100、200、500 ng/mL 的芝麻菜苷标准溶液,在优化的条件下考察方法的线性范围,芝麻菜苷在 10~500 ng/mL 浓度范围内线性良好($r^2 \geq 0.998$),线性方程为 $Y = 4.13 \times 10^6 X + 5839.7$ 。在芝麻菜样品中以 3 倍基线噪声测定芝麻菜苷的检出限,在取样量为 2.5 g,定容体积为 20 mL 下检出限为 3.0 $\mu\text{g/kg}$,定量限 10.0 $\mu\text{g/kg}$,方

因而提取时间过长容易导致芝麻菜苷水解而效率下降。

综上所述,本研究选取在 70 $^\circ\text{C}$ 恒温水浴下提取 20 min 为芝麻菜中芝麻菜苷的最适宜提取条件。

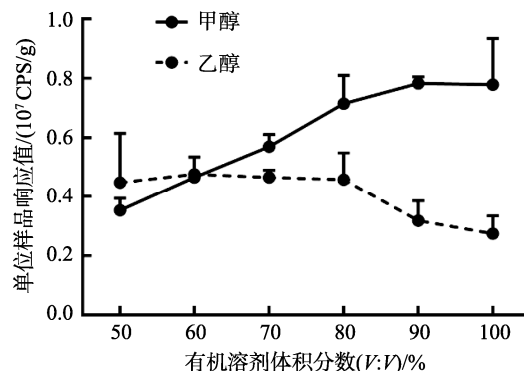
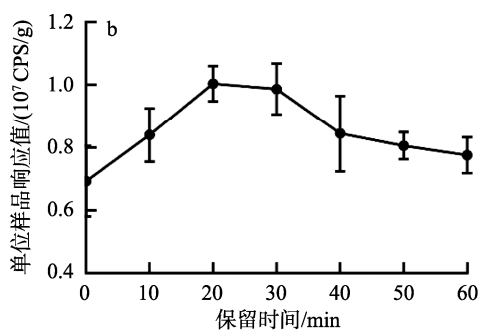


图 3 提取溶剂及体积分数对新鲜芝麻菜中芝麻菜苷提取量的影响(n=3)

Fig.3 Effects of extraction solvent and volume fraction on extraction of glucoerucin in fresh *Eruca sativa* Mill (n=3)

法灵敏度高。

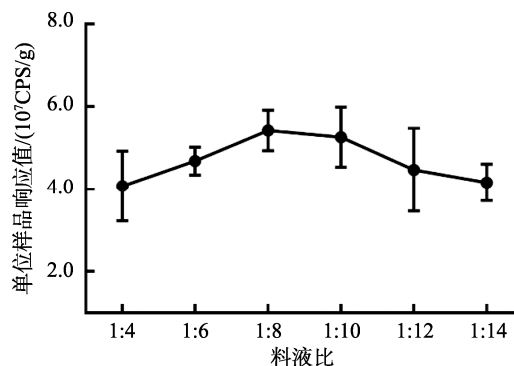


图 5 料液比对新鲜芝麻菜中芝麻菜苷提取量的影响(n=3)

Fig.5 Effects of solid-liquid ratio on extraction of glucoerucin in fresh *Eruca sativa* Mill (n=3)

由于新鲜芝麻菜中芝麻菜苷含量相对较高, 加标回收实验在新鲜芝麻菜样品中加入相当量(60 μg/kg)的芝麻菜苷标准溶液, 同时处理 6 个平行样品, 扣除样品空白后, 芝麻菜中芝麻菜苷的回收率在 92.1%~101.0%之间, 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)为 3.86%, 方法准确性较高。

2.4 实际样品测定

应用本方法对不同生长周期的芝麻菜中芝麻菜苷含量进行分析, 选用播种出苗第 5 d(苗期)、第 12 d(生长期 1)、第 19 d(生长期 2)及第 27 d(成熟期)4 个生长时间段进行采样, 其芝麻菜苷的含量如表 2 所示。随着芝麻菜的不 断生长, 芝麻菜苷的含量逐渐升高, 至成熟前期达到最高, 相比于苗期芝麻菜苷含量提升将近 10 倍。随后, 随着生长叶片的快速增大, 芝麻菜苷的含量开始呈下降趋势, 与文献报道基本一致^[23]。

表 2 芝麻菜不同生长周期芝麻菜苷含量变化(n=3) Table 2 Changes of glucorucin content in <i>Eruca sativa</i> Mill at different growth cycles (n=3)				
	苗期	生长期 1	生长期 2	成熟期
芝麻菜苷/ (μg/g)	7.71	32.0	84.9	63.4
	8.14	35.1	81.2	66.0
	7.68	27.6	82.1	64.5
RSD/%	3.28	11.94	2.33	2.02

3 结 论

本研究建立了新鲜芝麻菜中芝麻菜苷的高效液相色谱-串联质谱法, 通过对样品前处理和仪器条件进行优化, 选用 80%甲醇水溶液作为提取液, 在 70 °C 条件下提取 20 min, 以 0.1%甲酸水溶液-乙腈为流动相, Zorbax SB C₁₈ 色谱柱进行分离, 芝麻菜苷在 10~500 ng/mL 浓度范围内线性良好 ($r^2 \geq 0.998$), 新鲜芝麻菜中加标回收率为 92.1%~101.0%。应用本方法对不同生长期的芝麻菜中芝麻菜苷进行测定分析, 其含量及变化趋势与文献报道基本一致。本方法样品前处理简便且稳定, 精密度高, 重复性及回收率好, 适用于新鲜芝麻菜中芝麻菜苷的检测。

参考文献

[1] SUT S, BOSCHIERO I, SOLANA M, *et al.* Supercritical CO₂ extraction of *Eruca sativa* using cosolvents: Phytochemical composition by LC-MS analysis [J]. *Molecules*, 2018, 23(10): 23123240.

[2] TAVIANO MF, MELCHINI A, FILOCAMO A, *et al.* Contribution of the glucosinolate fraction to the overall antioxidant potential, cytoprotection against oxidative insult and antimicrobial activity of *Eruca sativa* Mill. leaves extract [J]. *Pharma Magaz*, 2017, 13(52): 738–743.

[3] TUMER TB, ROJAS-SILVA P, POULEV A, *et al.* Direct and indirect antioxidant activity of polyphenol- and isothiocyanate-enriched fractions from *Moringa oleifera* [J]. *J Agric Food Chem*, 2015, 63(5): 1505–1513.

[4] LV X, MENG G, LI W, *et al.* Sulforaphane and its antioxidative effects in broccoli seeds and sprouts of different cultivars [J]. *Food Chem*, 2020, 316: 126216.

[5] 雷建军, 陈长明, 陈国菊, 等. 硫苷及其生物合成分子生物学机理研究进展[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(5): 59–70.

LEI JJ, CHEN CM, CHEN GJ, *et al.* Advances in glucosinolates and molecular biological mechanisms of biosynthesis [J]. *J South China Agric Univ*, 2019, 40(5): 59–70.

[6] BARILLARI J, CANISTRO D, PAOLINI M, *et al.* Direct antioxidant activity of purified glucorucin, the dietary secondary metabolite contained in rocket (*Eruca sativa* Mill.) seeds and sprouts [J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(7): 2475–2482.

[7] SINGH D, ARORA R, BHATIA A, *et al.* Molecular targets in cancer prevention by 4-(methylthio)butyl isothiocyanate-A comprehensive review [J]. *Life Sci*, 2020, 241: 117061.

[8] SUNG J, WANF YF, PANG XY, *et al.* The effect of processing and cooking on glucoraphanin and sulforaphane in Brassica vegetables [J]. *Food Chem*, 2021, 360: 130007.

[9] BELL L, WAGSTAFF C. Enhancement of glucosinolate and isothiocyanate profiles in Brassicaceae crops: Addressing challenges in breeding for cultivation, storage, and consumer-related traits [J]. *J Agric Food Chem*, 2017, 65(43): 9379–9403.

[10] PARK CH, YEO HJ, PARK SY, *et al.* Comparative phytochemical analyses and metabolic profiling of different phenotypes of Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *Pekinensis*) [J]. *Foods*, 2019, 8(11): 8110587.

[11] 李瑞敏. 十字花科芽苗中硫代葡萄糖苷及其水解产物的研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2016.

LI RM. Studies on glucosinolates and their hydrolyzed products in the bud of Cruciferaeae [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2016.

[12] MIN I, HWANG, BOYEON, *et al.* Simultaneous direct determination of 15 glucosinolates in eight Brassica species by UHPLC-Q-Orbitrap-MS [J]. *Food Chem*, 2019, 282: 127–133.

[13] LIANG X, HUI WL, LI Z, *et al.* Simultaneous quantification of 22 glucosinolates in 12 brassicaceae vegetables by hydrophilic interaction chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *ACS Omega*, 2018, 3(11): 15546–15553.

[14] THOMAS M, BADR A, DESJARDINS Y, *et al.* Characterization of industrial broccoli discards (*Brassica oleracea* var. *Italica*) for their glucosinolate, polyphenol and flavonoid contents using UPLC MS/MS and spectrophotometric methods [J]. *Food Chem*, 2018, 245: 1204–1211.

[15] BELL L, YAHYA HN, OLOYEDE OO, *et al.* Changes in rocket salad phytochemicals within the commercial supply chain: Glucosinolates, isothiocyanates, amino acids and bacterial load increase significantly after processing [J]. *Food Chem*, 2017, 221: 521–534.

[16] BELL L, ORUNA-CONCHA MJ, WAGSTAFF C. Identification and quantification of glucosinolate and flavonol compounds in rocket salad (*Eruca sativa*, *Eruca vesicaria* and *Diplotaxis tenuifolia*) by LC-MS: Highlighting the potential for improving nutritional value of rocket crops [J]. *Food Chem*, 2015, 172: 852–861.

- [17] BAENAS N, MARHUENDA J, GARCIA-VIGUERA C, *et al.* Influence of cooking methods on glucosinolates and Isothiocyanates content in novel cruciferous foods [J]. *Foods*, 2019, 8(7): 8070257.
- [18] 彭佩, 田艳, 邓放明, 等. 基于 HPLC-Q-TOF-MS 技术鉴定不同品种花椰菜叶中硫代葡萄糖苷[J]. *食品与机械*, 2019, 35(4): 42–47, 119.
PENG P, TIAN Y, DENG FM, *et al.* Identification of glucosinolates in leaves of different varieties of cauliflower by HPLC-Q-TOF-MS [J]. *Food Mach*, 2019, 35(4): 42–47, 119.
- [19] GROSSER K, DAM N. A straightforward method for glucosinolate extraction and analysis with high-pressure liquid chromatography (HPLC) [J]. *J Visual Exp*, 2017, (121): e55425.
- [20] BLAEVI I, ULOVI A, ULI V I, *et al.* Microwave-assisted versus conventional isolation of glucosinolate degradation products from *lunaria annua* l. and their cytotoxic activity [J]. *Biomolecules*, 2020, 10(2): 10020215.
- [21] POPOVI M, MARAVI A, ULI VI, *et al.* Biological effects of glucosinolate degradation products from horseradish: A horse that wins the race [J]. *Biomolecules*, 2020, 10(2): 10020343.
- [22] 侯海亮, 邓莉, 杨崑, 等. 西兰花种子中黑芥子酶酶解性质及其应用研究[J]. *食品科学技术学报*, 2019, 37(5): 98–102.
HOU HL, DENG L, YANG M, *et al.* Study on enzymatic hydrolysis of myrosinase from broccoli seeds and its application [J]. *J Food Sci Technol*, 2019, 37(5): 98–102.
- [23] GROENBAEK M, KIDMOSE U, TYBIRK E, *et al.* Glucosinolate

content and sensory evaluation of baby leaf rapeseed from annual and biennial white- and yellow-flowering cultivars with repeated harvesting in two seasons [J]. *J Food Sci*, 2019, 84(7): 1888–1899.

(责任编辑: 李磅礴 于梦娇)

作者简介



余 静, 硕士研究生, 主要研究方向为天然成分分析。

E-mail: yu_jing0616@163.com



宫 衡, 博士, 教授, 主要研究方向为发酵工程和应用分子生物学。

E-mail: gongheng@ecust.edu.cn



葛 宇, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为食品化妆品检测及评估。

E-mail: geyu@sqi.org.cn