

大白菜的化学成分研究

王 涵, 司函瑞, 焦玉凤, 刘金平, 李平亚*

吉林大学药学院 吉林大学天然药物研究中心, 长春 130021

摘要:对十字花科芸薹属植物大白菜 (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) 的化学成分进行研究。利用硅胶柱色谱、Sephadex LH-20、半制备高效液相、结晶、重结晶等技术进行分离纯化, 根据所得单体化合物的理化性质和核磁共振波谱数据对所得单体化合物进行结构分析鉴定。从新鲜大白菜 95% 乙醇提取物中分离并鉴定了 15 个化合物, 分别为 β -谷甾醇(1)、5-羟甲基糠醛(2)、正丁基-*O*- β -D-吡喃果糖苷(3)、(6*S*,9*S*)-长寿花糖苷(4)、尿嘧啶核糖核苷(5)、琥珀酸(6)、琥珀酸甲酯(7)、对羟基肉桂酸(8)、乙基- β -D-吡喃葡萄糖苷(9)、谷焦氨酸正丁酯(10)、环(酪氨酸-亮氨酸)(11)、环(*L*-脯氨酸-*D*-亮氨酸)(12)、氯代正十六烷(13)、油酰胺(14)、豆甾烷-3,6-二酮(15)。化合物 3、6~15 为首次从十字花科芸薹属植物中分离得到, 化合物 1、3~15 为首次从大白菜中分离得到。采用 MTT 法检测了分离所得化合物 3 体外抑制喉癌 Hep-2 细胞生长的作用。

关键词:大白菜; 提取分离; 结构鉴定; 活性筛选

中图分类号: R284.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2020)8-1343-05

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2020.8.009

Chemical constituents from berries of *Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*

WANG Han, SI Han-ru, JIAO Yu-feng, LIU Jin-ping, LI Ping-ya*

College of Pharmacy, Jilin University, Natural Medicine Research Center, Jilin University, Changchun 130021, China

Abstract: To investigate the chemical constituents from the *Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis* (Cruciferae). The constituents from the 95% ethanol extract of *Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis* were separated and purified by silica gel chromatography, Sephadex LH-20, semi-preparative high performance liquid phase, crystallization, recrystallization technologies. The structures of isolated compounds were elucidated by physicochemical properties and spectral data analysis. Fifteen compounds were isolated and purified. They were identified as β -sitosterol (1), 5-hydroxymethylfurfural (2), n-butyl- β -D-fructopyranoside (3), (6*S*,9*S*)-roseoside (4), uridine (5), succinate (6), methyl succinate (7), *p*-hydroxycinnamic acid (8), ethyl- β -D-glucopyranoside (9), butyl pyroglutamate (10), cyclo (Pro-Leu) (11), cyclo (Tyr-Leu) (12), 1-chlorohexadecane (13), oleamide (14), stigmastane-3,6-dione (15). Compounds 3 and 6-15 are obtained from the plants of *Brassicaceae*. for the first time, and compound 1, 3-15 is isolated from *Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis* for the first time. The effect of the compound 3 on inhibiting the growth of laryngeal carcinoma Hep-2 cells *in vitro* was examined by MTT.

Key words: *Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*; extraction and separation; structural identification; activity screening

大白菜 (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) 为十字花科 (Cruciferae) 芸薹属 (*Brassicaceae*) 二年生草本植物, 又名结球白菜、黄芽菜, 原产于中国^[1,2], 最早历史记载始于西晋, 古时称之为“菘”。大白菜中含有多种微量元素、维生素、无机盐、纤维素、蛋白质、氨基酸、糖苷、黄酮、生物碱、三萜皂苷、挥发油等成分^[3,4], 民间有“百菜不如白菜”的说法, 可见大白菜

在居民蔬菜供应中占有重要地位。元代食疗专著《饮膳正要》记载其“通利肠胃, 除胸中烦, 解酒毒”。清代《本草纲目拾遗》记载: “白菜汁, 甘温无毒, 利肠胃, 除胸烦, 解酒渴, 利大小便, 和中止嗽”且“冬汁尤佳”。可缓解肺热、咳嗽、咽干、口渴、头痛、大便干结、丹毒、痔疮出血等病症^[5,6], 是清凉降泻兼补益之良品, 适合大部分人群食用。查阅文献发现, 对大白菜的研究以栽培育种以及防虫害为主, 对其化学成分的提取分离鲜有报道, 为进一步明确大白菜中的化学成分, 以期为其食用价值和药用价值提

收稿日期: 2019-10-30 接受日期: 2020-06-24

基金项目: 吉林省科技成果转化项目 (20160301003YY)

* 通信作者 E-mail: lipy@jlu.edu.cn

供参考依据,本课题组对吉林产大白菜的化学成分进行研究。

1 仪器与材料

大白菜于 2017 年 10 月采购自吉林省长春市,由吉林大学药学院李平亚教授鉴定为十字花科芸薹属植物大白菜(*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*)。

Xevo G2-XS QTOF 四级杆飞行时间质谱仪(美国 Waters 公司);Acquity UPLC 超高效液相色谱仪(美国 Waters 公司);Acquity UPLC BEH C₁₈ 色谱柱(50 mm × 2.1 mm, 1.7 μm, 美国 Waters 公司);半制备高效液相色谱仪(Waters 1525 二元 HPLC 泵, Waters 2998 二极管阵列检测器);SunFire Prep C₁₈ 半制备色谱柱(10 mm × 150 mm, 10 μm, 美国 Waters 公司);Bruker DRX 500、600 核磁共振波谱仪(美国 Bruker 公司);旋转蒸发器(上海豫康科教仪器设备有限公司);DLSB 低温冷却液循环泵(上海豫康科教仪器设备有限公司);Spectrumlab 暗箱式紫外分析仪(上海棱光技术有限公司);FA1104N 电子分析天平(上海民桥精密科学仪器有限公司);RCT-3200 超纯水仪(长春博莱帕特科技发展有限公司);KQ-100 数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);柱色谱硅胶(青岛鑫昶来硅胶有限公司);TLC 硅胶板(青岛邦凯高新技术材料有限公司);反相 C₁₈ 硅胶(梯希爱上海化成工业发展有限公司);Sephadex LH-20(上海伊卡生物技术有限公司);乙腈(色谱纯, Fisher 公司);正己烷、二氯甲烷、三氯甲烷、乙酸乙酯、丙酮、正丁醇(分析纯,北京化学工业集团有限责任公司);无水乙醇(工业级,上海阿拉丁生化科技股份有限公司);甲醇、三氯甲烷、吡啶、二甲基亚砜(氘代试剂,上海思域化工科技有限公司)。

Hep-2 细胞株(中国科学院上海生命科学研究院);RPMI-1640 培养基、胎牛血清(美国 Hyclone 公司);二甲亚砜(DMSO)、青霉素和链霉素(上海鼎国生物技术有限公司);MTT(美国 Sigma 公司)。MCO-20AIC CO₂ 培养箱(中国 Sanyo 公司)。

2 实验方法

2.1 提取与分离

取新鲜白菜 102 kg, 剁碎, 以 5 倍体积量的 95% 乙醇室温浸泡 3 次, 第 1 次浸泡 48 h, 其余 2 次各浸泡 24 h, 合并 3 次浸泡所得提取液, 过 200 目筛, 所得滤液通过减压回收溶剂得到稠膏, 将稠膏溶解于 2 000 mL 水中, 依次用正己烷、二氯甲烷、乙酸

乙酯、正丁醇萃取 3 次, 合并各部分萃取液, 减压回收溶剂, 干燥后得正己烷萃取物 5.6 g, 二氯甲烷萃取物 12.2 g, 乙酸乙酯萃取物 25.9 g, 正丁醇萃取物 260.2 g。

正己烷萃取物(5.6 g)经正相硅胶柱色谱, 采用正己烷-乙酸乙酯系统(200:1→0:100)梯度洗脱, 得到 3 个组分, 其中 Fr. 1 中结晶得到化合物 **1**(5 mg)。

二氯甲烷萃取物(12.2 g)经正相硅胶柱色谱, 采用正己烷-乙酸乙酯系统(200:1→0:100)梯度洗脱, 得到 5 个组分, 其中 Fr. 1 中结晶得到化合物 **12**(2 mg)。

乙酸乙酯萃取物(25.9 g)经正相硅胶柱色谱, 以正己烷-乙酸乙酯系统(30:1→0:1)和氯仿甲醇系统(10:1→1:1)梯度洗脱, 得到 5 个组分, 其中 Fr. 2 结晶得到化合物 **6**(10 mg), Fr. 3 经 Sephadex LH-20 和半制备液相以及重结晶得到化合物 **7**(3 mg), Fr. 3 经反复硅胶柱色谱和 Sephadex LH-20 得到化合物 **8**(5 mg)。

正丁醇萃取物(124.2 g)经正相硅胶柱色谱, 以氯仿甲醇系统(100:1→1:1)梯度洗脱, 得到 12 个组分, Fr. 1 经正相硅胶柱色谱和反向硅胶柱色谱得到化合物 **2**(7 mg)、**14**(5 mg), Fr. 2 经正相硅胶柱色谱、反相硅胶柱色谱和半制备液相得到化合物 **10**(2 mg)、**9**(2 mg)、**15**(2 mg), Fr. 3 经正相硅胶柱色谱和半制备液相得到化合物 **11**(2 mg), Fr. 7 经 Sephadex LH-20 和半制备液相得到化合物 **4**(5 mg)、**5**(2 mg), Fr. 19 经正相硅胶柱色谱和反向硅胶柱色谱得到化合物 **13**(3 mg), Fr. 10 经结晶和重结晶技术得到化合物 **3**(512 mg)。

2.2 药理活性筛选

用 MTT 法检测该化合物对喉癌 Hep-2 细胞的抑制作用, 将喉癌 Hep-2 细胞进行细胞计数后接种于 96 孔板内(体积为 100 μL/孔, 每孔细胞约 1 × 10⁵ 个/mL), 设相应浓度的溶媒对照孔及调零孔, 然后加入不同浓度的药物, 给药浓度分别为 200、100、50、25、12.5、6.25 μM, 每个浓度设 6 个复孔。药物与细胞共同孵育 24 h 后用 MTT 法检测细胞生长情况。吸尽培养基后, 每孔加入 90 μL 无血清培养基, 除空白孔外, 每孔加入 MTT 10 μL, 置培养箱中反应 4 h, 吸尽培养基后, 每孔加入 100 μL DMSO 混匀后充分吹打, 使紫色结晶完全溶解后测定 570 nm 处的 OD 值。细胞增殖抑制率 = [1 - (用药组 OD 值 - 空白

组 OD 值)/(对照组 OD 值-空白组 OD 值)] × 100%。

3 实验结果

3.1 结构鉴定

化合物 1 白色晶体(甲醇);10% 硫酸-乙醇溶液显紫红色,Liebermann-Burchard 反应呈阳性,Molish 反应呈阴性。¹H NMR(600 MHz, CDCl₃) δ: 5.38 (1H, m, H-1)为烯氢信号,3.55(1H, m, H-3)为连氧氢信号,1.03(3H, s, 19-CH₃),0.95(3H, d, *J* = 1.0 Hz, 21-CH₃),0.87(3H, m, 26-CH₃),0.85(3H, m, 29-CH₃),0.83(3H, m, 27-CH₃),0.70(3H, m, 18-CH₃)为甲基上的氢信号。¹³C NMR(151 MHz, CDCl₃) δ: 140.8(C-5),121.7(C-6),71.8(C-3),56.8(C-14),56.1(C-17),50.1(C-9),45.8(C-24),42.3(C-4),39.8(C-13),37.3(C-12),36.5(C-1),36.2(C-10),33.9(C-20),33.7(C-7),31.9(C-22),31.7(C-8),29.7(C-25),29.2(C-16),28.3(C-23),26.1(C-2),24.3(C-15),23.1(C-28),21.1(C-11),19.8(C-27),19.4(C-18),19.0(C-29),18.8(C-21),11.9(C-26),11.9(C-19)。以上数据与文献^[7]报道基本一致,故鉴定化合物 **1** 为 β-谷甾醇。

化合物 2 棕色油状物;常温下易溶于甲醇、醋酸乙酯、丙酮等。¹H NMR(600 MHz, CD₃OD) δ: 9.55(1H, s, H-5),7.40(1H, d, *J* = 3.6 Hz, H-2),6.60(1H, d, *J* = 3.6 Hz, H-3),4.63(2H, s, H-6);¹³C NMR(151 MHz, CD₃OD) δ: 179.4(CHO-),163.2(C-5),153.8(C-2),124.7(C-3),110.8(C-4),57.6(CH₂)。以上数据与文献^[8]报道基本一致,故鉴定化合物 **2** 为 5-羟甲基糠醛。

化合物 3 白色针状晶体;10% 硫酸-乙醇溶液显棕黄色,Molish 反应呈阳性。¹H NMR(600 MHz, CD₃OD) δ: 3.83 ~ 3.54(7H, m, Fru-H),3.42(2H, m, H-1),1.47(2H, m, H-2),1.31(2H, m, H-3),0.84(3H, t, *J* = 7.4 Hz, H-4);¹³C NMR(151 MHz, CD₃OD) δ: 101.4(C-2'),71.4(C-5'),70.9(C-4'),70.4(C-6'),65.0(C-1'),63.3(C-3'),61.4(C-1),33.1(C-2),20.3(C-3),14.1(C-4)。以上数据与文献^[9]报道基本一致,故鉴定化合物 **3** 鉴定为正丁基-O-β-D-吡喃果糖苷。

化合物 4 透明胶状物;Molish 反应呈阳性,¹H NMR(600 MHz, CD₃OD) δ: 5.88(1H, d, *J* = 15.6 Hz, H-7),5.78(1H, s, H-4),5.64(1H, dd, *J* = 15.6, 7.2 Hz, H-8),4.44(1H, q, *J* = 6.5 Hz, H-9),4.18(1H,

d, *J* = 7.8 Hz, H-1'),3.76(1H, dd, *J* = 11.9, 2.0 Hz, H-6' a),3.55(1H, dd, *J* = 11.9, 6.2 Hz, H-6' b),3.26 ~ 3.01(4H, m, H-3', H-4', H-2', H-5'),2.51(1H, d, *J* = 17.0 Hz, H-2a),2.09(1H, d, *J* = 16.9 Hz, H-2b),1.85(3H, s, H-13),1.20(3H, d, *J* = 6.5 Hz, H-10),0.93(6H, d, *J* = 12.7 Hz, H-11, 12);¹³C NMR(151 MHz, CD₃OD) δ: 199.9(C-3),165.7(C-5),132.3(C-7, 8),125.7(C-4),99.8(C-1'),78.6(C-6),76.9(C-5'),76.7(C-3'),73.5(C-9),73.2(C-2'),70.2(C-4'),61.4(C-6'),49.3(C-2),41.0(C-1),23.3(C-12),22.1(C-11),20.9(C-10),18.2(C-13)。以上数据与文献^[10]报道基本一致,鉴定化合物 **4** 为(6*S*,9*S*)-长寿花糖苷。

化合物 5 白色粉末;¹H NMR(800 MHz, CD₃OD) δ: 8.03(1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-6),5.92(1H, d, *J* = 4.7 Hz, H-1'),5.71(1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-5),4.18(2H, m, H-3', H-2'),4.02(1H, m, H-4'),3.86(1H, dd, *J* = 12.5, 2.7 Hz, H-5'b),3.75(1H, dd, *J* = 12.2, 3.1 Hz, H-5'b);¹³C NMR(201 MHz, CD₃OD) δ: 166.3(C-4),152.2(C-2),142.4(C-6),102.3(C-5),90.4(C-1'),86.0(C-4'),75.4(C-3'),71.0(C-2'),62.3(C-5')。以上数据与文献^[11]报道基本一致,故鉴定化合物 **5** 为尿嘧啶核苷。

化合物 6 白色晶体;溴甲酚绿反应呈阳性。¹H NMR(600 MHz, CD₃OD) δ: 2.47(4H, s, -CH₂);¹³C NMR(151 MHz, CD₃OD) δ: 176.1(-COOH),29.8(-CH₂)。以上数据与文献^[12]报道基本一致,故鉴定化合物 **6** 为琥珀酸。

化合物 7 白色粉末;¹H NMR(800 MHz, CD₃OD) δ: 3.69(3H, s, -OCH₃),2.61(4H, s, H-2, H-3);¹³C NMR(201 MHz, CD₃OD) δ: 176.1(-COOH),174.8(COO-),52.2(-OCH₃),29.9(C-2, 3)。以上数据与文献^[13]报道基本一致,故鉴定化合物 **7** 为琥珀酸甲酯。

化合物 8 淡黄色粉末;¹H NMR(600 MHz, CD₃OD) δ: 7.33(1H, d, *J* = 15.8 Hz, H-7),7.26(2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-2, H-6),6.65(2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-3, H-5),6.24(1H, d, *J* = 15.7 Hz, H-8);¹³C NMR(151 MHz, CD₃OD) δ: 177.3(C-9),159.9(C-4),142.2(C-7),130.1(C-2, 6),128.2(C-1),121.8(C-8),116.4(C-3, 5)。以上波谱数据和文献^[14]对照一致,故鉴定化合物 **8** 为对羟基肉桂酸。

化合物 9 白色粉末;10% 硫酸-乙醇显色显黄

色斑点, Molish 反应呈阳性。¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 4.29 (1H, d, *J* = 7.8 Hz), 1.25 (3H, t, *J* = 7.1 Hz, CH₃), 3.97 (1H, m), 3.68 (1H, m); ¹³C NMR (151 MHz, CD₃OD) δ: 102.7 (C-1'), 76.7 (C-5'), 76.5 (C-3'), 73.7 (C-2'), 70.2 (C-4'), 64.7 (C-1), 61.3 (C-6'), 14.0 (C-2)。以上波谱数据和文献^[15]对照一致, 故鉴定化合物 **9** 为乙基-β-D-吡喃葡萄糖苷。

化合物 10 白色粉末; ¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 4.30 (1H, dd, *J* = 9.0, 4.3 Hz, H-5), 4.19 (2H, t, *J* = 6.6 Hz, H-7), 2.58 ~ 2.46 (1H, m, H-4a), 2.44 ~ 2.29 (2H, m, H-3), 2.17 (1H, m, H-4b), 1.74 ~ 1.63 (2H, m, H-8), 1.43 (2H, m, H-9), 0.98 (3H, t, *J* = 7.4 Hz, H-10); ¹³C NMR (151 MHz, CD₃OD) δ: 172.7 (C-2), 64.9 (C-7), 55.7 (C-5), 30.3 (C-8), 28.9 (C-3), 24.5 (C-4), 18.7 (C-9), 12.6 (C-10)。以上波谱数据和文献^[16]对照一致, 故鉴定化合物 **10** 为焦谷氨酸正丁酯。

化合物 11 白色粉末; 碘熏显色, 与三氯化铁试剂反应呈阳性, 说明该化合物结构中含有酚羟基。¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 6.90 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-9, 13), 6.61 (2H, d, *J* = 8.4 Hz, H-10, 12), 4.14 (1H, m, H-6), 3.56 (1H, m, H-3), 3.10 (1H, dd, *J* = 13.9, 3.5 Hz, H-7a), 2.74 (1H, dd, *J* = 13.9, 4.7 Hz, H-7b), 1.33 (1H, m, H-15), 0.78 (1H, m, H-14), 0.64 (6H, m, H-16, 17); ¹³C NMR (151 MHz, CD₃OD) δ: 170.6 (C-2), 169.2 (C-5), 158.1 (C-11), 133.1 (C-9, 13), 127.2 (C-8), 116.4 (C-10, 12), 57.7 (C-6), 54.1 (C-3), 45.2 (C-14), 39.4 (C-7), 24.8 (C-15), 23.3 (C-16), 21.3 (C-17)。以上波谱数据和文献^[17]对照一致, 故鉴定化合物 **11** 为环(酪氨酸-亮氨酸)二肽。

化合物 12 白色粉末; 碘熏显色。¹H NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 4.22 ~ 4.00 (2H, m), 3.68 (1H, m), 3.40 (2H, m), 2.21 (1H, m), 1.77 ~ 1.95 (2H, m), 1.54 (1H, m), 1.43 (1H, m), 1.32 (1H, m), 0.86 (6H, m); ¹³C NMR (151 MHz, CD₃OD) δ: 171.4 (C-4), 167.5 (C-2), 58.8 (C-3), 53.2 (C-1), 45.0 (C-7), 37.9 (C-8), 27.6 (C-5), 24.3 (C-6), 22.2 (C-9), 21.8 (C-10), 20.8 (C-11)。以上波谱数据和文献^[18]对照一致, 故鉴定化合物 **12** 为环(L-脯氨酸-D-亮氨酸)。

化合物 13 白色无定型粉末; ¹H NMR (600 MHz, CDCl₃) δ: 1.28 (26H, s, 13 × CH₂), 0.90 (3H,

t, *J* = 7.0 Hz, CH₃); ¹³C NMR (151 MHz, CDCl₃) δ: 33.0 (C-3), 31.5 (C-4), 29.3 (C-4 ~ 13), 22.8 (C-2), 22.3 (C-15), 18.0 (C-1), 13.7 (C-16)。以上波谱数据和文献^[19]对照一致, 故鉴定化合物 **13** 为氯代正十六烷。

化合物 14 白色粉末; 碘熏显色。¹H NMR (600 MHz, CDCl₃) δ: 5.35 (2H, t, *J* = 4.8 Hz, H-9, 10), 2.27 ~ 2.19 (2H, m, H-2), 2.01 (2H, dd, *J* = 12.6, 6.7 Hz, H-8), 1.64 (2H, dt, *J* = 15.2, 7.6 Hz, H-11), 1.30 (22H, m, H-12 ~ 17, 3 ~ 7), 0.88 (3H, t, *J* = 7.0 Hz, H-18); ¹³C NMR (151 MHz, CDCl₃) δ: 172.5 (C-1), 129.9 (C-9, 10), 36.0 (C-2), 31.9 (C-16), 29.7 (C-4, 5), 29.7 (C-6), 29.6 (C-7), 29.5 (C-8), 29.5 (C-11), 29.4 (C-12), 29.3 (C-13), 29.2 (C-14), 27.2 (C-15), 25.5 (C-3), 22.6 (C-17), 14.1 (C-18)。以上波谱数据和文献^[20]对照基本一致, 故鉴定化合物 **14** 为油酸酰胺。

化合物 15 白色粉末; 碘熏显色。¹H NMR (600 MHz, CDCl₃) δ: 0.98 (3H, s, H-19), 0.95 (3H, d, *J* = 6.5 Hz, H-21), 0.90 ~ 0.79 (9H, m, H-29, 26, 27), 0.72 (3H, s, H-18); ¹³C NMR (151 MHz, CDCl₃) δ: 209.1 (C-3), 209.0 (C-6), 57.5 (C-5), 56.6 (C-14), 56.0 (C-17), 53.5 (C-9), 46.6 (C-10, 13), 45.8 (C-7, 24), 39.3 (C-12), 38.1 (C-1), 38.0 (C-8), 37.4 (C-2), 37.0 (C-4), 36.0 (C-20), 33.8 (C-22), 29.7 (C-25), 28.0 (C-16), 26.0 (C-23), 24.0 (C-15), 23.0 (C-28), 21.6 (C-11, 29), 19.8 (C-26), 19.0 (C-27), 18.7 (C-21), 12.5 (C-19), 12.0 (C-18)。以上波谱数据和文献^[21]对照基本一致, 故鉴定化合物 **15** 为豆甾烷-3,6-二酮。

3.2 药理活性筛选结果

MTT 法测得该化合物在给药浓度低于 125 μM 时, 未表现出对喉癌 Hep-2 细胞明显的抑制作用, 给药浓度为 180 μM 时对喉癌 Hep-2 细胞的抑制率达 50%。

4 结论

本实验从十字花科芸薹属植物大白菜中共分离得到 15 个化合物, 有 11 个首次从芸薹属植物中分得, 14 个首次从大白菜中分得, 丰富了大白菜化学成分参考资料。据报道, 正丁基-*O*-β-*D*-吡喃果糖苷(化合物 **3**)具有诱导肝癌 Bel-7402 细胞凋亡的作用, 且随着浓度的升高和作用时间的延长, 其诱导细胞凋亡作用增强, 不同浓度的正丁基-β-*D*-吡喃果糖苷与 Bel-7402 细胞作用 24、48 h 可明显抑制 Bel-

7402 细胞存活,25 mg/L 的正丁基- β -D-吡喃果糖苷抑制率达到 42.39%^[22]。因分离所得的化合物 **3** 含量达 500 mg,在正丁醇层中大量存在,且已有活性研究基础,其余化合物因分离得到的数量少或未有文献报道显著活性,故只对化合物 **3** 进行了体外药理活性测试,结果表明给药浓度低于 125 μ M 时,该化合物对喉癌 Hep-2 细胞的生长作用抑制不明显,为大白菜的生物活性研究提供了参考依据。

参考文献

- China Agricultural Encyclopedia Editor-in-Chief Committee. Chinese Agricultural Encyclopedia (中国农业百科全书) [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1990.
- Fang ZY, Zhang WN. Chinese Vegetable Crops (中国蔬菜作物图鉴) [M]. Jiangsu: Jiangsu Science and Technology Press, 2011.
- Song TY, Hou XL, He QW, et al. Evaluation on the nutritional components of *Bruassica campestris* L. ssp. *chinensis* Makino var. *taitai* Hort, var. *commnis* Tsen et Lee and var. *ceohalata* Tsen et Lee [J]. Shandong Agr Sci (山东农业科学), 2007, 45(5): 21-22.
- Zhang Y, Wu LL, Li JW. Chemical composition of 3 kinds of Cruciferae *Brassica* plants [J]. Heilongjiang Med Pharm (黑龙江医药科学), 2007, 30(2): 21-22.
- Zhou TY, Guo RL, Lu LL, et al. Chinese cruciferous medicinal plant briefing [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 1980, 11: 315-320.
- Liu YG, Shen ZT, Zhang YT, et al. Nutritional health function of Chinese cabbage and safe, high quality and efficient cultivation techniques in autumn [J]. Shanghai Agr Sci Technol (上海农业科技), 2015, 44(2): 87-88.
- Liu X, Wang Y, Kuang XD, et al. Isolation and identification of chemical constituents from *Artocarpus nigrifolius* [J]. Chin J Exp Tradit Med Form (中国实验方剂学杂志), 2018, 24: (4): 56-65.
- Ning HH, Yuan MM, Wu QP, et al. Identification of chemical constituents from *Polygonatum cyrtoneuma* [J]. Chin J Exp Tradit Med Form (中国实验方剂学杂志), 2018, 24(22): 77-82.
- Zuo YM, Cai MT, Zhang ZL, et al. Study on chemical constituents of *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Chin Med Mater (中药材), 2014, 37: 1786-1788.
- Feng WS, Chen WJ, Li M, et al. Glycosides from the flowers of *Chrysanthemum morifolium* [J]. Chin Med Mater (中药材), 2018, 41: 338-341.
- Shi LQ, Lu X, Meng LW, et al. Chemical constituents from the bulbs of *Fritillaria walujewii* [J]. Chin Med Mater (中药材), 2017, 40: 2098-2100.
- Yue Y, Liu YQ, Sun L, et al. Isolation and identification of chemical constituents from *Alpinia oxyphylla* Miq [J]. Asia-Pac Tradit Med (亚太传统医药), 2011, 7(4): 19-20.
- Mi CN, Mei WL, Zuo WJ, et al. Chemical constituents from *Amoora tetrapetala* [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2015, 27: 562-566.
- Tan BX, Peng GT, Yu S, et al. Chemical constituents of *Adenosma glutinosum* [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2017, 48: 2024-2017.
- Cheng J, Zhao YY. Studies on Flavonoids from leaves of *Eucommia ulmoides* Oliv [J]. Chin J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2000, 25: 284-286.
- Bai ZQ, Lin XP, Yang B, et al. Chemical constituents from the mangroves endophytic fungus *Pestalotiopsis versicolor* [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2014, 26: 206-208.
- Kumar N, Gorantla JN, Mohandas C, et al. Isolation and antifungal properties of cyclo(d-Tyr-l-Leu) diketopiperazine isolated from *Bacillus* sp. associated with rhabditid entomopathogenic nematode [J]. Nat Prod Lett, 2013, 27: 2168-2172.
- Zhang ZH, Dai Z, Hu XR, et al. Isolation and structure elucidation of chemical constituents from *Pinellia ternata* [J]. Chin Med Mater (中药材), 2013, 36: 1620-1622.
- Yang Y, Li XZ, Zhang QH, et al. Studies on the chemical components of *Nelumbinis Plumula* and the inhibitory activity on protein disulfide isomerase [J]. Chin J Chin Mater Med (中国中药杂志), 2017, 42: 3004-3010.
- Ming ZX, Woo S L, Kim JM, et al. Acyl-CoA: cholesterol acyltransferase inhibitory activities of fatty acid amides isolated from *Mylabris phalerate* Pallas [J]. Bio Med Chem Lett, 2004, 14: 4277-4280.
- Wei K, Li W, Koike K, et al. Complete 1H and 13C NMR assignments of two phytosterols from roots of *Piper nigrum* [J]. Magn Reson Chem, 2004, 42: 355-359.
- Lou YC, Huang F, Yan XF, et al. Induction effect of n-butyl- β -D-fructosidepyranose on apoptosis bel-7402 cells *in vitro* [J]. Chin J Hosp Pharm (中国医院药学杂志), 2009, 29: 1253-1255.