

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2023.11.021

苦瓜皂苷最佳提取工艺优化及其对 α -葡萄糖苷酶的抑制活性

石博¹, 万新建^{1*}, 关峰¹, 张景云¹, 黄长林¹, 张会国², 黄国东²

(1. 江西省农业科学院 蔬菜花卉研究所, 江西 南昌 330200; 2. 江西省高安市农业农村局, 江西 高安 330800)

摘要: 采用响应面法优化超声提取苦瓜皂苷的最佳工艺, 并考察最佳提取工艺条件下提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制活性。试验结果表明, 超声提取苦瓜皂苷的最佳工艺条件为固液比 1:15 (g/mL)、乙醇浓度 75%、超声时间 95 min、提取温度 50 °C, 在该条件下苦瓜皂苷的提取率可达 2.21%, 其对 α -葡萄糖苷酶抑制的 IC₅₀ 值为 5.48 mg/mL。

关键词: 苦瓜; 皂苷; 超声提取; 最佳工艺; α -葡萄糖苷酶

Optimization of Extraction Process of Saponins from *Momordica charantia* and Their Inhibitory Activity on α -Glucosidase

SHI Bo¹, WAN Xin-jian^{1*}, GUAN Feng¹, ZHANG Jing-yun¹, HUANG Chang-lin¹,
ZHANG Hui-guo², HUANG Guo-dong²

(1. Institute of Vegetable and Flower, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, Jiangxi, China; 2. Jiangxi Gaoan Agriculture Bureau, Gao'an 330800, Jiangxi, China)

Abstract: Response surface methodology was used to optimize the ultrasonic extraction process of saponins from *Momordica charantia*, and the inhibitory activity of the extract on α -glucosidase under the optimal extraction process conditions was investigated. The experimental results showed that the optimal extraction conditions for ultrasonic extraction of saponins from *Momordica charantia* were solid-liquid ratio 1:15 (g/mL), ethanol concentration 75%, ultrasonic time 95 min, extraction temperature 50 °C. Under such conditions, the extraction rate of saponins from *Momordica charantia* was up to 2.21%, and the IC₅₀ value against α -glucosidase was 5.48 mg/mL.

Key words: *Momordica charantia* L.; saponins; ultrasonic extraction; optimal process; α -glucosidase

引文格式:

石博, 万新建, 关峰, 等. 苦瓜皂苷最佳提取工艺优化及其对 α -葡萄糖苷酶的抑制活性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(11): 145-150.

SHI Bo, WAN Xinjian, GUAN Feng, et al. Optimization of Extraction Process of Saponins from *Momordica charantia* and Their Inhibitory Activity on α -Glucosidase[J]. Food Research and Development, 2023, 44(11): 145-150.

苦瓜(*Momordica charantia* L.)别名凉瓜、锦荔枝、癞瓜,为葫芦科一年生攀缘草本植物^[1],是一种具有苦味的蔬菜,在我国已有 500 年的栽培历史。现代药理研

究表明,苦瓜中含有多种功能性成分,如皂苷、多糖、黄酮、酚类等物质,其中皂苷作为主要功能性物质和苦味主要来源成分,具有调节血糖、抗菌、抗肿瘤、抗病毒

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-23);江西省重点研发计划(20212BBF61003、20212BBF63015、20212BBF63012);江西现代农业科研协同创新专项(JXXTCX202101)

作者简介:石博(1986—),男(汉),助理研究员,硕士,研究方向:蔬菜遗传育种与分子生物技术。

*通信作者:万新建(1971—),男(汉),研究员,学士,研究方向:蔬菜遗传育种与分子生物技术。

等药用价值^[2-4]。优化苦瓜皂苷提取工艺,有利于指导苦瓜精深加工,开发以苦瓜皂苷为主要原料的健康食品。边会喜等^[5]的研究发现苦瓜总皂苷最佳提取工艺条件为乙醇质量分数60%、料液比1:7(g/mL)、提取时间3h,此时苦瓜皂苷粗制品的得率为2.37%。董加宝等^[6]的研究发现溶剂法结合大孔吸附树脂对纯化苦瓜皂苷有较好的效果。刘慧娟等^[7]采用甲醇回流法提取13个苦瓜品种的苦瓜皂苷,发现不同品种苦瓜果肉中的皂苷总含量有明显差异。胡艺涵^[8]将超声波辅助结合酶法应用于苦瓜汁粉的制备中,可以有效避免传统提取工艺中高温、氧化等对苦瓜功能性物质的破坏。 α -葡萄糖苷酶(α -D-glucoside glucohydrolase)是控制血糖的一个关键酶,它可以切割多糖非还原端的 α -葡萄糖苷键和低聚糖中的 α -1,4-糖苷键,转化成 α -D-葡萄糖和 α -1,6-糖苷键,从而生成异麦芽糖、异麦芽三糖等功能性糖^[9-10]。 α -葡萄糖苷酶还可有效控制餐后血糖水平,对糖尿病的预防和治疗具有重要意义^[11]。虽然已有苦瓜皂苷提取工艺的相关研究,但极少关于苦瓜皂苷对 α -葡萄糖苷酶抑制活性的研究,苦瓜皂苷提取工艺优化结合 α -葡萄糖苷酶抑制活性的研究鲜有报道。

本研究拟通过响应面法优化苦瓜中皂苷类化合物的提取工艺条件,选用对环境无残留的乙醇为溶剂,利用超声波辅助法提取苦瓜皂苷,同时研究苦瓜皂苷类化合物对 α -葡萄糖苷酶的抑制活性,以期为皂苷工业化生产及苦瓜精深加工提供参考,对苦瓜保健食品的开发具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

以江西省农业科学院蔬菜花卉研究所瓜类蔬菜研究室选育赣苦瓜4号果实为试验材料。人参皂苷Rg1(纯度98%):中国药品生物制品鉴定研究所; α -葡萄糖苷酶(0.5 U/mL):美国Sigma公司;对硝基苯基- β -D-吡喃葡萄糖苷(4-nitrophenyl- β -D-glucopyranoside,PNPG):上海麦克林生化科技有限公司;阿卡波糖:上海源叶生物科技有限公司;磷酸缓冲液(phosphate buffered solution,PBS):北京索莱宝试剂有限公司;甲醇、石油醚、乙酸乙酯、无水碳酸钠、正丁醇(均为分析纯):西陇科学股份有限公司。

1.2 仪器与设备

KQ5200E型超声波清洗器:昆山舒美超声仪器有限公司;AUW120D电子天平:岛津仪器有限公司;TECAN infinite 200酶标仪:瑞士TECAN公司;6202型高速粉碎机:北京燕山正德机械设备有限公司;RE-52AA型旋转蒸发仪:上海亚荣生化仪器有限公司;LGJ-10N真空冷冻干燥机:北京亚星仪科技发展有限公司;

BCD-470WGHTD7ES9U1型冰箱:青岛海尔集团公司;DK-8D电热恒温水浴锅:上海一恒科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 苦瓜皂苷的提取

苦瓜洗净后切片取籽,在真空冷冻干燥机中干燥42h,粉碎机粉碎后过60目筛,备用。称取50.00g苦瓜干粉,放入乙醇溶液,在一定温度下超声提取1.5h,25℃、4000r/min离心10min,过滤后收集滤液和滤渣,共提取3次,合并提取液过滤浓缩至原来体积的1/10,浓缩液用石油醚萃取3次,乙酸乙酯萃取3次,水饱和的正丁醇萃取3次。将得到的正丁醇相经减压浓缩至浸膏,用甲醇溶解后定容至100mL烧瓶内,4℃保存备用^[12]。

1.3.2 苦瓜皂苷提取率的测定

采用高氯酸-香草醛-冰醋酸法^[13]测定皂苷含量,以人参皂苷Rg1为标准品。皂苷含量以每100g苦瓜干重计算,表示为g/100gDW,苦瓜皂苷提取率Y(%)的计算公式如下。

$$Y/\% = \frac{W_1}{W_0} \times 100$$

式中: W_1 为苦瓜皂苷的质量,g; W_0 为苦瓜干重量,g。

1.3.3 单因素试验

设置各因素变量分别为固液比[1:5、1:10、1:15、1:20、1:25(g/mL)]、乙醇浓度(50%、60%、70%、80%、90%)、超声时间(30、60、90、120、150min)和提取温度(40、50、60、70、80℃),考察固液比、乙醇浓度、超声时间、提取温度对苦瓜皂苷提取率的影响。每个处理重复3次。

1.3.4 响应面优化试验

根据单因素试验结果,以固液比(A)、乙醇浓度(B)、超声时间(C)、提取温度(D)为试验因子,以苦瓜皂苷提取率(Y)为评价指标,利用响应面法(response surface methodology,RSM)确定苦瓜皂苷提取的最优工艺组合。响应面法设计因素与水平见表1。

表1 响应面法设计因素与水平
Table 1 Variables and levels of RSM

水平	因素			
	A 固液比/ (g/mL)	B 乙醇浓度/ %	C 超声时间/ min	D 提取温度/ ℃
-1	1:5	60	60	40
0	1:15	80	90	60
1	1:25	100	120	80

1.3.5 α -葡萄糖苷酶抑制活性

参照刘慧娟等^[7]、Wu等^[14]的方法,取20 μ L苦瓜皂苷甲醇溶液和阿卡波糖溶液用0.1mol/L磷酸盐缓冲液(pH6.8)稀释至200 μ L,然后取50 μ L和25 μ L的

0.5 U/mL α -葡萄糖苷酶于96孔板中,37℃预孵育10 min。加入20 μ L 10 mmol/L的PNPG,37℃下孵育30 min,孵育结束后加入20 μ L、100 μ L的0.2 mol/L Na_2CO_3 溶液终止反应,405 nm下测吸光度。同时设置背景对照组、空白对照组, α -葡萄糖苷酶活性抑制率 $W(\%)$ 的计算公式如下。

$$W(\%) = \frac{A_1 - (A_3 - A_2)}{A_1} \times 100$$

式中: A_1 为空白对照组的吸光度; A_2 为背景对照组的吸光度; A_3 为样品的吸光度。

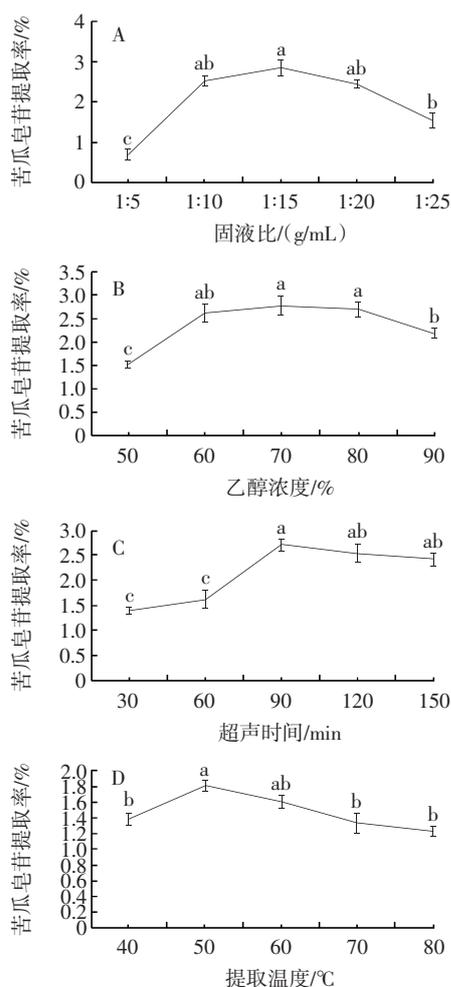
1.4 数据分析

用Microsoft Excel 2016、SPSS 16.0和Design-Expert 11.0软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

不同处理条件对苦瓜皂苷提取率的影响如图1所示。



A.固液比;B.乙醇浓度;C.超声时间;D.提取温度。

不同小写字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

图1 不同处理条件对苦瓜皂苷提取率的影响

Fig.1 Effects of different treatments on the extraction of saponin

由图1A可知,在固液比为1:5(g/mL)~1:15(g/mL)时,随着体积的增加,从细胞内到溶剂之间扩散的浓度梯度增大,苦瓜皂苷提取率也随之增大。当固液比为1:15(g/mL)时,苦瓜皂苷提取率最高,为2.83%;当固液比大于1:15(g/mL)时,苦瓜皂苷提取率开始下降。这可能因为固液比过大时,溶剂的传质阻力增大,出现了提取不完全的情况。综合考虑溶剂用量、能源消耗等方面,选取最优固液比为1:15(g/mL)。由图1B可知,在乙醇浓度为50%~70%时,随着乙醇浓度的升高,苦瓜皂苷提取率逐渐升高,乙醇浓度为70%时达到最大值,为2.78%,而后随着乙醇浓度的增加,苦瓜皂苷提取率逐渐降低。由图1C可知,苦瓜皂苷提取率随超声时间的延长整体呈上升趋势。由图1D可知,苦瓜皂苷提取率随提取温度的升高呈先升高而后下降的趋势,当提取温度达到50℃时,苦瓜皂苷提取率最高,达到1.82%,当继续提高提取温度时苦瓜皂苷提取率变化不明显。可能与提取温度过高,导致皂苷类成分的分解有关。

2.2 响应面优化试验结果

响应面试验设计与结果见表2。

表2 响应面试验设计与结果

Table 2 Response surface experimental design and results

序号	A/(g/mL)	B/%	C/min	D/°C	苦瓜皂苷提取率 Y/%
1	1:5	60	90	60	1.91
2	1:25	60	90	60	2.09
3	1:5	100	90	60	1.77
4	1:25	100	90	60	1.79
5	1:15	80	60	40	2.15
6	1:15	80	120	40	2.13
7	1:15	80	60	80	1.75
8	1:15	80	120	80	1.68
9	1:5	80	90	40	1.82
10	1:25	80	90	40	2.02
11	1:5	80	90	80	1.58
12	1:25	80	90	80	1.65
13	1:15	60	60	60	1.61
14	1:15	100	60	60	1.62
15	1:15	60	120	60	1.83
16	1:15	100	120	60	1.69
17	1:5	80	60	60	1.71
18	1:25	80	60	60	1.69
19	1:5	80	120	60	1.84
20	1:25	80	120	60	1.87
21	1:15	60	90	40	1.90
22	1:15	100	90	40	1.86
23	1:15	60	90	80	1.78
24	1:15	100	90	80	1.67
25	1:15	80	90	60	2.21
26	1:15	80	90	60	2.12
27	1:15	80	90	60	2.12
28	1:15	80	90	60	2.11
29	1:15	80	90	60	2.20

为考察各因素对苦瓜皂苷提取率的影响,以提取率为考核指标,通过 Design-Expert 11.0 软件进行二次响应面回归分析,得到多元二次响应回归模型: $Y/\% = 4.66 + 0.052 5A - 0.187 5B + 0.107 5C - 0.475 8D - 0.095 2AB + 0.044 C + 0.082 5AD - 0.027 5BC + 0.001 BD - 0.08 CD - 0.534 9A^2 - 0.069 49B^2 - 0.617 4C^2 - 0.447 4D^2$ 。

回归方程系数显著性检验表如表 3 所示。

表 3 回归方程系数显著性检验表

Table 3 Test of significance for regression equation coefficients

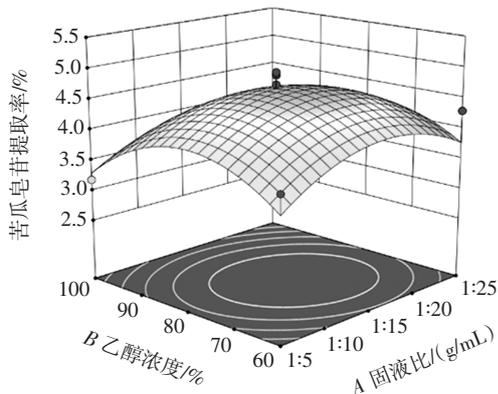
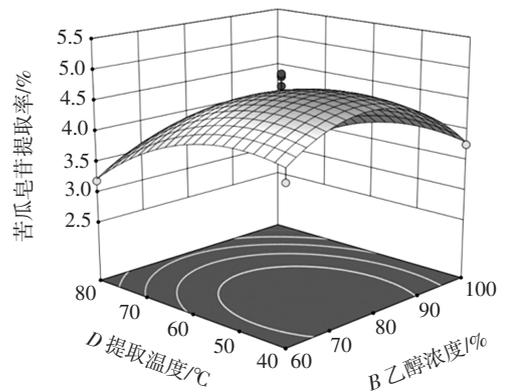
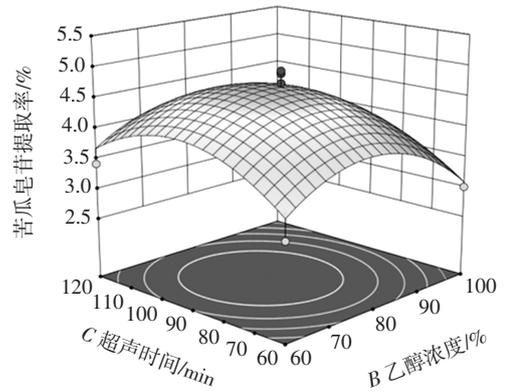
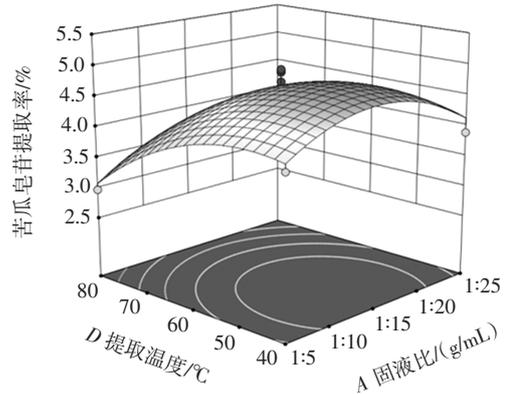
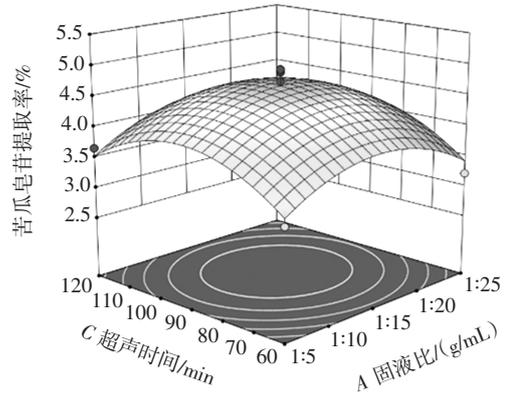
来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	9.13	14	0.652 1	4.60	0.003 6**
A	0.033 1	1	0.033 1	0.233 3	0.636 6
B	0.421 9	1	0.421 9	2.98	0.106 5
C	0.138 7	1	0.138 7	0.978 1	0.339 5
D	2.72	1	2.72	19.16	0.000 6**
AB	0.036 1	1	0.036 1	0.254 6	0.621 7
AC	0.0064	1	0.006 4	0.045 1	0.834 8
AD	0.027 2	1	0.027 2	0.192 0	0.667 9
BC	0.003 0	1	0.003 0	0.021 3	0.886 0
BD	0.000 4	1	0.000 4	0.002 8	0.958 4
CD	0.025 6	1	0.025 6	0.180 6	0.677 4
A ²	1.86	1	1.86	13.09	0.002 8**
B ²	3.13	1	3.13	22.09	0.000 3**
C ²	2.47	1	2.47	17.44	0.000 9**
D ²	1.30	1	1.30	9.16	0.009 1**
残差	1.99	14	0.141 8		
失拟项	1.77	10	0.117 2	0.577 0	0.781 1
纯误差	0.812 7	4	0.203 2		
总离差	11.11	28			

注:**表示影响极显著, $P < 0.01$ 。

由表 3 可知,回归方程差异极显著($P < 0.01$),失拟项具有不显著性($P = 0.781 1 > 0.05$),说明方程对试验拟合较好。提取温度(D)对苦瓜皂苷提取率的影响极显著($P < 0.01$)。根据 F 值的大小可以得出各因素对苦瓜皂苷提取率影响的顺序为提取温度(D) > 乙醇浓度(B) > 超声时间(C) > 固液比(A)。

各因素之间的交互作用对苦瓜皂苷提取率的影响效果如图 2 所示。

影响苦瓜皂苷提取率的因素之间交互作用的关系图可以直观地反映出因素交互作用对提取率的影响。由图 2 可知,提取温度和乙醇浓度交互作用对皂



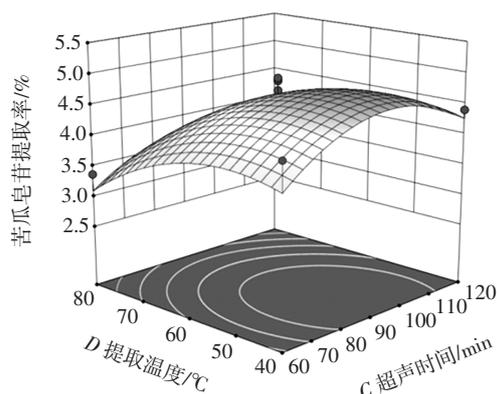


图2 因素之间的交互作用对皂苷提取率影响的响应曲面
Fig.2 Response surface plot for the effects of the interaction between factors on the extraction of saponin

皂苷提取率的影响较大,其坡面比较陡,呈上升趋势,达到峰值区间后,皂苷提取率逐渐下降。可能是由于随着提取时间的延长,苦瓜皂苷中不稳定的成分发生了降解。这与单因素试验中提取时间考察和方差分析中因素D影响最大相吻合。

根据上述回归模型,采用响应面试验得到的最优组合为固液比1:15.25(g/mL)、乙醇浓度77.13%、超声时间93.79 min、提取温度49.15 °C。考虑到实际操作的限制,将超声波辅助乙醇提取皂苷的提取工艺条件调整为固液比1:15(g/mL)、乙醇浓度75%、超声时间95 min、提取温度50 °C,在此条件下苦瓜皂苷的提取率可达2.21%。

2.3 苦瓜皂苷对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用

采用优化后的工艺条件对苦瓜皂苷进行提取,其对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用见图3。

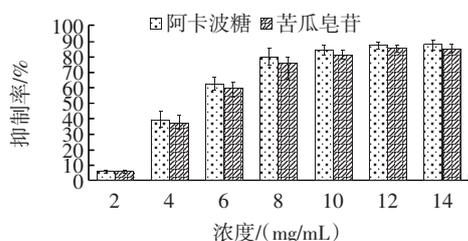


图3 苦瓜皂苷提取物和阿卡波糖对 α -葡萄糖苷酶抑制作用
Fig.3 Inhibitory effect of saponins extract of bitter gourd and acarbose on the activity of α -glucosidase

由图3可知,当苦瓜皂苷浓度在2 mg/mL~10 mg/mL时, α -葡萄糖苷酶的抑制率随皂苷浓度的增加而明显增加;当苦瓜皂苷浓度大于10 mg/mL时,抑制率无明显变化。阿卡波糖 IC_{50} 值为5.15 mg/mL,苦瓜皂苷 IC_{50} 值为5.48 mg/mL。综上,苦瓜皂苷具备 α -葡萄糖苷酶抑制活性,阳性对照阿卡波糖对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用高于苦瓜皂苷。

3 讨论与结论

研究发现,苦瓜皂苷具有公认类似胰岛素的降血糖特性^[15-16],其调控机制主要包括激活蛋白激酶[adenosine 5'-monophosphate(AMP)-activated protein kinase, AMPK]的含量等^[17]。Nagarani等^[18]研究发现苦瓜皂苷能够明显降低正常小鼠和2型糖尿病小鼠餐后血糖。Hafizur等^[19]发现苦瓜乙醇提取物明显改善了糖尿病大鼠的空腹血糖、血清胰岛素和 β 细胞功能。丁雷等^[20]认为苦瓜可以通过改善胰岛 β 细胞功能、改善胰岛素抵抗、抑制肠道内葡萄糖的吸收及抗炎、抗氧化应激等多方面发挥降糖作用。基于上述研究,苦瓜皂苷具有较好的保健功效且提取工艺操作简单。

本文通过响应面法优化苦瓜皂苷的最佳提取工艺,即固液比1:15(g/mL)、乙醇浓度75%、超声时间95 min、提取温度50 °C,在此条件下苦瓜皂苷的提取率可达2.21%。该工艺对环境无污染,工序简单,是具有应用前景的大规模提取苦瓜皂苷新方法。本文以阳性药阿卡波糖为对照,发现苦瓜皂苷具有抑制 α -葡萄糖苷酶活性的作用,其 IC_{50} 值为5.48 mg/mL。研究结果可为以苦瓜皂苷为主要功能性成分的健康食品的开发提供参考。

参考文献:

- 崔竣杰,李波,程蛟文,等. 苦瓜苦味物质及其生物合成研究进展[J]. 园艺学报, 2015, 42(9): 1707-1718.
CUI Junjie, LI Bo, CHENG Jiaowen, et al. Progress on bitter principles and its biosynthesis in bitter melon[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(9): 1707-1718.
- AKIHISA T, HIGO N, TOKUDA H, et al. Cucurbitane-type triterpenoids from the fruits of *Momordica charantia* and their cancer chemopreventive effects[J]. Journal of Natural Products, 2007, 70(8): 1233-1239.
- TAN M J, YE J M, TURNER N, et al. Antidiabetic activities of triterpenoids isolated from bitter melon associated with activation of the AMPK pathway[J]. Chemistry & Biology, 2008, 15(3): 263-273.
- CHEN J C, LIU W Q, LU L, et al. Kuguacins F-S, cucurbitane triterpenoids from *Momordica charantia*[J]. Phytochemistry, 2009, 70(1): 133-140.
- 边会喜,黄齐,蔡静,等. 苦瓜总皂苷提取条件优化及不同部位的含量分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2018, 41(1): 129-132.
BIAN Huixi, HUANG Qi, CAI Jing, et al. Optimization of technology for extracting saponin from bitter melon(*Momordica charantia* L.) and content analysis for different parts[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2018, 41(1): 129-132.
- 董加宝,段丽萍,谭力,等. 苦瓜皂苷提取及纯化工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(13): 48-51.
DONG Jiabao, DUAN Liping, TAN Li, et al. Study on extraction and purification of saponins in bitter melon[J]. Food Research and Development, 2016, 37(13): 48-51.
- 刘慧娟,张名位,张瑞芬,等. 不同苦瓜品种皂苷含量组成及其抗

- 氧化活性和 α -葡萄糖苷酶的抑制活性[J]. 中国农业科学, 2017, 50(17): 3413-3421.
- LIU Huijuan, ZHANG Mingwei, ZHANG Ruifen, et al. Saponin profiles and antioxidant activity, α -glucosidase inhibitory activity of *Momordica charantia* of different varieties[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(17): 3413-3421.
- [8] 胡艺涵. 苦瓜功效成分提取制备及对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶抑制效果研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021.
- HU Yihan. Study on the extraction and preparation of the functional components of *Momordica charantia* and the inhibition of α -amylase and α -glucosidase[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2021.
- [9] CHIBA S. Molecular mechanism in alpha-glucosidase and glucoamylase[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 1997, 61(8): 1233-1239.
- [10] 易菊阳, 梁钰婷, 陆兵, 等. 高产 α -葡萄糖苷酶黑曲霉的微波选育及发酵条件优化[J]. 食品科学, 2014, 35(15): 145-150.
- YI Juyang, LIANG Yuting, LU Bing, et al. Microwave breeding of *Aspergillus niger* with high α -glucosidase activity and optimization of its fermentation conditions[J]. Food Science, 2014, 35(15): 145-150.
- [11] SHODEHINDE S A, ADEMILUYI A O, OBOH G, et al. Contribution of *Musa paradisiaca* in the inhibition of α -amylase, α -glucosidase and angiotensin-I converting enzyme in streptozotocin induced rats[J]. Life Sciences, 2015, 133(15): 8-14.
- [12] DENG Y F, HE K, YE X L, et al. Saponin rich fractions from *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce with more potential hypoglycemic effects[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2012, 141(1): 228-233.
- [13] 朱群娣, 吴康郁, 袁伟彬. 苦瓜中总皂苷的比色法测定[J]. 中医学报, 2014, 29(10): 1469-1472.
- ZHU Qundi, WU Kangyu, YUAN Weibin. Colorimetric method determination of total saponins from *Momordica charantia* L.[J]. China Journal of Chinese Medicine, 2014, 29(10): 1469-1472.
- [14] WU T T, ZHOU X T, DENG Y F, et al. *In vitro* studies of *Gynura divaricata* (L.) DC extracts as inhibitors of key enzymes relevant for type 2 diabetes and hypertension[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 136(2): 305-308.
- [15] HAN J H, TUAN N Q, PARK M H, et al. Cucurbitane triterpenoids from the fruits of *Momordica charantia* improve insulin sensitivity and glucose homeostasis in streptozotocin-induced diabetic mice[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2018, 62(7): e1700769.
- [16] 陈海敏, 严小军, 林伟. α -葡萄糖苷酶抑制剂的构效关系[J]. 中国生物化学与分子生物学报, 2003, 19(6): 780-784.
- CHEN Haimin, YAN Xiaojun, LIN Wei. Relationship between structure and function of α -glucosidase inhibitors[J]. Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 2003, 19(6): 780-784.
- [17] TAN S P, KHA T C, PARKS S E, et al. Bitter melon (*Momordica charantia* L.) bioactive composition and health benefits: A review[J]. Food Reviews International, 2016, 32(2): 181-202.
- [18] NAGARANI G, ABIRAMI A, SIDDHURAJU P. Food prospects and nutraceutical attributes of *Momordica* species: A potential tropical bioresources-A review[J]. Food Science and Human Wellness, 2014, 3(3/4): 117-126.
- [19] HAFIZUR R M, KABIR N, CHISHTI S. Modulation of pancreatic β -cells in neonatally streptozotocin-induced type 2 diabetic rats by the ethanolic extract of *Momordica charantia* fruit pulp[J]. Natural Product Research, 2011, 25(4): 353-367.
- [20] 丁雷, 朱怡霏, 李梅, 等. 苦瓜的降糖作用及机制研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(10): 204-212.
- DING Lei, ZHU Yifei, LI Mei, et al. Progress on hypoglycemic effect and mechanism of *Momordica charantia*[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2021, 27(10): 204-212.

加工编辑:张昱
收稿日期:2022-04-06